A. hydr.
1148

Winkler

-5

8° A. Hydr. 1148
Winkler

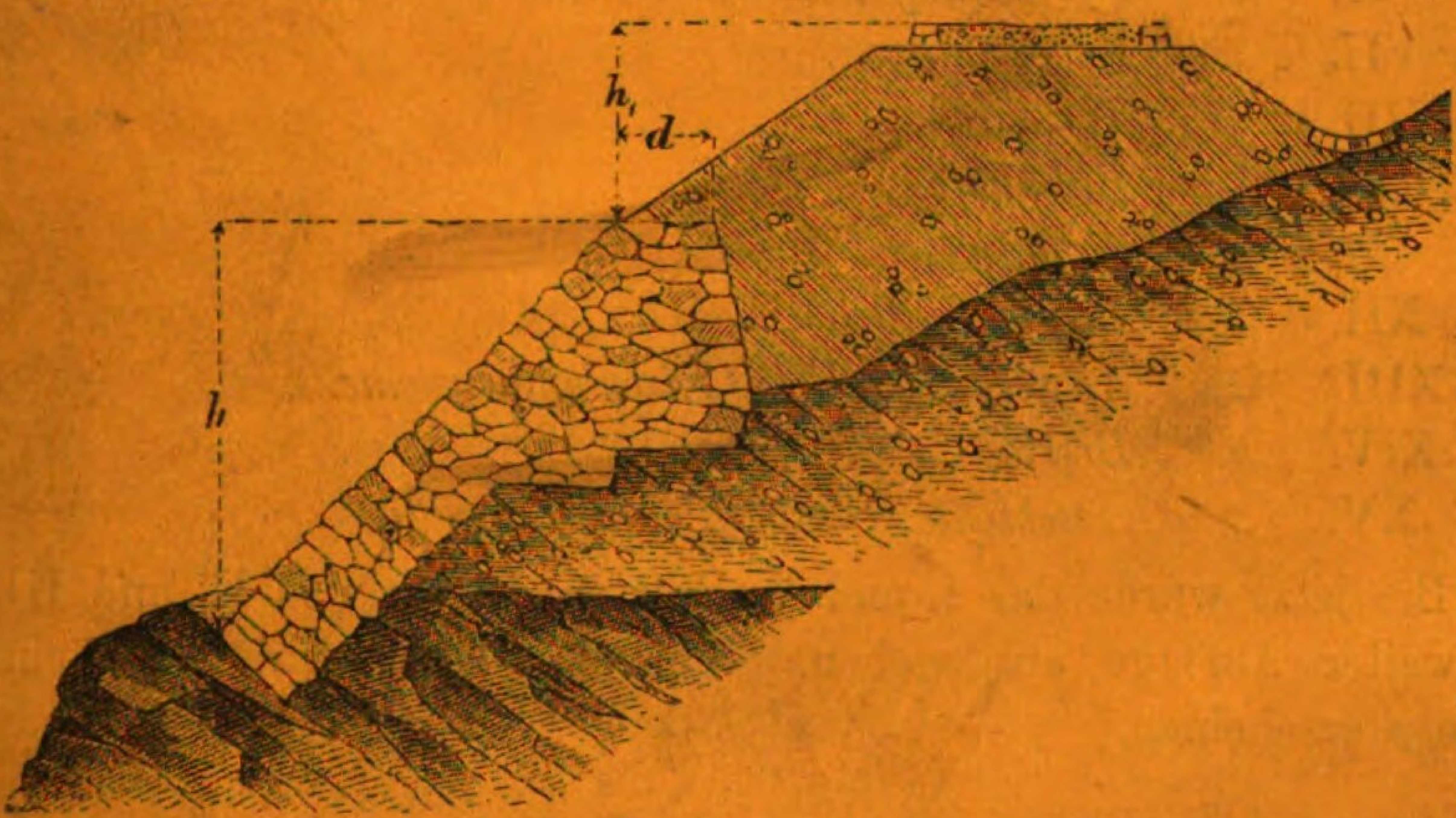
VORTRÄGE
über
EISENBAHNBAU,
gehalten an
verschiedenen deutschen polytechnischen Schulen,
begonnen von
Dr. E. Winkler.

Fünftes Heft.

Unterbau.
(Geometrische Vorarbeiten und Konstruktion der Erdbauten.)

Von
Dr. E. Winkler,
O. Professor des Eisenbahn- und Brückenbaues an der k. k. technischen Hochschule in Wien.

Dritte verbesserte Auflage.



Mit 275 Holzschnitten und 5 Farbendruck-Tafeln.

Das Recht der Uebersetzung in fremde Sprachen bleibt vorbehalten.

PRAG 1877.
VERLAG VON H. DOMINICUS.

47 Hc

Ankündigung.

Die **„Vorträge über Eisenbahnbau"** erscheinen in einzelnen Heften, von denen jedes ein abgeschlossenes Ganze bildet und einzeln abgegeben wird. Jedes Heft wird in Lieferungen von 5 bis 8 Bogen Text mit Holzschnitten und nöthigenfalls lithografirten Tafeln ausgegeben. Je 3 oder 4 Hefte sollen durch einen gemeinsamen Titel zu einem Bande vereinigt werden. Die hierbei beobachtete Eintheilung ist folgende:

I.	Heft.	*Oberbau.*
II.	„	*Weichen und Kreuzungen.*
III.	„	*Schiebebühnen und Drehscheiben.*
IV.	„	*Herstellung des Oberbaues.*
V.	„	*Unterbau.*
VI.	„	*Herstellung des Unterbaues.*
VII.	„	*Nebenanlagen.*
VIII.	„	*Trassiren.*
IX. u. X.	„	*Bahnhöfe.*
XI.	„	*Signalwesen.*
XII.	„	*Betriebsmittel.*
XIII.	„	*Aussergewöhnliche Eisenbahnsysteme.*
XIV.	„	*Betrieb.*
XV.	„	*Geschichte, Statistik und Literatur.*

Bis jetzt wurde das I. und V. Heft in dritter, das II. und III. Heft in zweiter Auflage ausgegeben. Vom XI. Heft wird demnächst der Schluss erscheinen.

VORTRÄGE

über

EISENBAHNBAU,

gehalten an

verschiedenen deutschen polytechnischen Schulen,

begonnen von

Dr. E. Winkler.

Fünftes Heft.

Der Eisenbahn-Unterbau,

nach den

Vorträgen über Eisenbahnbau an der k. k. technischen Hochschule in Wien,

gehalten von

Dr. **E. Winkler,**

ord. Professor für Eisenbahn- und Brückenbau.

Dritte verbesserte Auflage.

Mit 275 Holzschnitten und 5 Tafeln in Farbendruck.

PRAG 1877.

VERLAG VON H. DOMINICUS.

DER

EISENBAHN-UNTERBAU,

nach den

Vorträgen über Eisenbahnbau,

gehalten an der

k. k. technischen Hochschule in Wien

von

Dr. E. Winkler,

ord. Professor für Eisenbahn- und Brückenbau.

Dritte verbesserte Auflage.

Mit 275 Holzschnitten und 5 Tafeln in Farbendruck.

Das Recht der Uebersetzung in fremde Sprachen bleibt vorbehalten.

PRAG 1877.

VERLAG VON H. DOMINICUS.

BIBLIOTHECA
REGIA
MONACENSIS

I. Auflage. 1870.
II. Auflage. 1874.

Holzschnitte von C. Wlzeck in Wien.
Lithographie von Guberner & Hierhammer sowie von F. Köke in Wien.
Druck von B. G. Teubner in Leipzig.

Vorwort.

Das vorliegende Heft der „Vorträge über Eisenbahnbau“ behandelt, dem Titel entsprechend, den Eisenbahn-Unterbau. Hierbei ist indess der Begriff dieses Wortes im engeren Sinne zu nehmen. Das Heft behandelt nämlich in zwei Abschnitten die geometrischen Vorarbeiten für Erdbauten überhaupt, sowie die Konstruktion der Erdbauten. Ausgeschlossen bleibt also die Wahl der Linie oder das Trassiren, welchem ein eigenes Heft gewidmet wird, die Konstruktion der sogenannten Kunstbauten, wie Futtermauern, Tunnels, Durchlässe etc. und die Ausführung der Erdarbeiten, welcher ebenfalls ein eigenes Heft gewidmet werden soll.

Wie in den übrigen Heften haben wir das Citiren der benützten Quellen im Texte vermieden, um die Wiederholungen und Unterbrechungen, welche hierdurch veranlasst worden wären, zu vermeiden. Alle benutzten Quellen sind indess mit Hinweis auf die Stellen des Buches, an denen eine Benutzung stattgefunden hat, in der am Schlusse beigefügten „Literatur“ angeführt; in derselben sind indess auch nicht benutzte Arbeiten und Werke angeführt, um hierdurch dem weitergehenden Selbststudium zu Hülfe zu kommen.

Die Figuren zum Abschnitte über Konstruktion der Erdbauten sind grösstentheils ausgeführten Konstruktionen und Normalien entnommen.

Als Maasseinheit ist nur der Meter benutzt.

Gegen die erste und zweite Auflage bietet die vorliegende dritte Auflage hinsichtlich der Anordnung des Stoffes keine wesentliche Aenderung. Wohl aber war der Verfasser bemüht, Fehler in den früheren Auflagen zu berichtigen, sowie eine zeitgemässe Umarbeitung vorzunehmen und einzelnes Neue einzuschalten.

Wesentliche Aenderungen oder Zusätze enthalten die folgenden Paragrafe: §. 13, 23, 30, 43, 44, 46, 64, 69, 75, 76, 98, 100, 101, 103, 106, 117, 118, 131, 134, 135, 140, 143, 146, 148, 149, 153, 158, 159, 160, 161, 168 und 170. Neu eingeschaltet wurden folgende Paragrafe:

§. 26, 27, 28, 49, 50, 51, 59, 62, 66, 74, 102, 110, 115, 116, 119, 120, 121, 141, 154, 164 und 171. Die Anzahl der Holzschnitte wurde um 30 Procent vermehrt. Den technischen Ausdrücken wurden die französischen und englischen Benennungen beigefügt. Hierbei gestatte ich mir, zu erwähnen, dass ich bemüht war, Fremdwörter möglichst zu vermeiden und da, wo eingebürgerte Fremdwörter nicht mehr auszuschliessen sind, sie als deutsche Wörter aufzufassen, und zwar entweder durch deutsche Schreibweise, (wie z. B. in den Wörtern Trassiren, Dräniren, Reservoar u. s. w.) oder deutsche Aussprache (wie in den Wörtern Terrain, Detail). Gern wäre ich hierin noch etwas weiter gegangen; jedoch glaube ich, dass es rathsamer erscheint, zunächst die Erfolge der jetzigen reformatorischen Bewegungen auf dem Gebiete der deutschen Orthografie abzuwarten.

Den Herren Studirenden M. Fröschl und J. Kajaba sage ich für die Aufsuchung von Fehlern hiermit meinen Dank.

Wien, im Januar 1877.

E. Winkler.

Inhalt.

II. Theil. Der Bahnkörper.

			Seite
	Einleitung		1

V. Abschnitt. Geometrische Vorarbeiten für Erdbauten.

I.	Kap.	Das Stationiren	2
II.	„	Das Nivellement	37
III.	„	Grafische Arbeiten	45
IV.	„	Flächenberechnung	54
V.	„	Massenberechnung	70
VI.	„	Theorie des Transportes durch animalische Kräfte	90
VII.	„	Die Massenvertheilung	113

VI. Abschnitt. Konstruktion der Erdbauten.

VIII.	Kap.	Theorie der Böschungen	147
IX.	„	Das Material	154
X.	„	Deformationen	162
XI.	„	Konstruktion im Allgemeinen	170
XII.	„	Einschnitte	181
XIII.	„	Konstruktion der Dämme	205
XIV.	„	Gründung der Dämme	228
XV.	„	Entwässerungen	244
		Literatur	262
		Berichtigungen	271

II. Theil.

Der Bahnkörper.

§. 1. Einleitung. Wir verstehen unter Bahnkörper den meist aus Erd- oder Steinmaterial bestehenden Körper, welcher die Eisenbahngleise trägt. Gewöhnlich wird derselbe im Gegensatze zu den Gleisen oder dem Oberbaue auch Unterbau genannt, obwohl nicht alle Theile desselben unter den Gleisen zu liegen brauchen.

Der Erdbau (fr. *le terrassement*, engl. *the earthwork*), welcher die Konstruktion und Herstellung der Erdkörper behandelt, ist daher gleichzeitig die Lehre vom Unterbaue. Da Erdbauten nicht nur bei Eisenbahnen, sondern auch bei Strassen, Kanälen, Deichen etc. vorkommen, so gehört dieser Theil indess nicht speciell in den Eisenbahnbau, sondern in die allgemeine Ingenieurbaukunde.

Wir können zwei Arten von Erdkörpern unterscheiden, nämlich den eine Erhöhung bildenden Auftrag oder Damm (fr. *le remblai*, engl. *the remblai*) und den eine Vertiefung bildenden Abtrag oder Einschnitt (fr. *le deblai, la tranchée*, engl. *the cutting*). Erdkörper, bei welchen in demselben Profile Auf- und Abtrag gleichzeitig vorkommt, heissen Anschnitte. Eine specielle Art der Einschnitte bilden die Tunnels, welche indess in einem besonderen Theile behandelt werden sollen.

Wir werden den Erdbau in folgende drei Theile theilen: I. Vorarbeiten, II. Konstruktion der Erdbauten, III. Herstellung der Erdbauten.

V. Abschnitt.

Geometrische Vorarbeiten für Erdbauten.

§. 2. Einleitung. Zu den Vorarbeiten (fr. *les travaux préparatoires*, engl. *the preliminary works*), welche der Ausführung eines Erdbaues vorausgehen müssen, gehören die folgenden Arbeiten:

I. Feldarbeiten.

1. Das Trassiren (fr. *le tracé*, engl. *the tracing, the selection of line*) oder die Wahl der Linie. Die Wahl der Linie besteht wiederum aus geodätischen und technischen Arbeiten; die letzteren setzen eine Vertrautheit mit einem grossen Theile des Eisenbahnbaues voraus, wesshalb die Wahl der Linie in einem späteren besonderen Theile unter dem Titel „Trassiren" besprochen werden soll. Im gegenwärtigen Abschnitte soll vorausgesetzt werden, dass die Wahl der Linie bereits getroffen sei.

2. Das Stationiren oder das Abstecken der Axe des Erdkörpers. Diese Arbeit wird auch das Trassiren im engeren Sinne genannt.

3. Das Nivelliren, welches in der Herstellung eines Längennivellements und der zur Projektsverfassung nöthigen Quernivellements besteht.

II. Zimmerarbeiten.

4. Die grafischen Arbeiten, welche in der Herstellung eines Situationsplanes, eines Längenprofiles und der nöthigen Querprofile bestehen.

5. Die Massenberechnung, d. i. die Berechnung der Volumina der Auf- und Abträge.

6. Die Massenvertheilung, d. i. die Bestimmung der Art und Weise der Verwendung der Abtragsmassen und der Beschaffung der Auftragsmassen.

7. Die Kostenberechnung. Wir werden die Kostenberechnung indess, obwohl sie zu den Vorarbeiten gehört, mit bei der Herstellung der Erdbauten behandeln.

Hierzu können noch Vorstudien für einzelne Objekte, Bonitirungen oder Schätzungen des Grundwerthes, geologische Studien, Verhandlungen mit den Interessenten über Wege- und Wasser-Angelegenheiten und dergl. kommen.

I. Kapitel.

Das Stationiren.

§. 3. Das Stationiren im Allgemeinen. Das Stationiren (fr. *le piquettement*, engl. *the setting-out*) besteht im Bezeichnen der Axe durch Pfähle (fr. *le piquet*, engl. *the picket, the number-peg*), welche man in der Regel in gleichen Abständen, sogenannten Stationslängen, auch Profillängen oder kurz Profilen, einschlägt. Diese durch Pfähle bezeichneten Punkte heissen Stationen und werden mit den fortlaufenden Nummern bezeichnet. Durch die gleichen Entfernungen erleichtert man

sich das Abstecken, die Massenberechnung und das Bestimmen und Angeben von Entfernungen. Für die Feststellung des Projektes werden ausser diesen Hauptpunkten noch Zwischenpunkte nöthig werden; man darf daher die Stationslänge nicht zu gross wählen, um nicht zu viel Zwischenpunkte nöthig zu haben, aber auch nicht zu klein, um nicht durch die grosse Anzahl von Punkten die Arbeit unnöthig zu erschweren.

Die Stationslänge war bisher in den verschiedenen Ländern verschieden und von dem bestehenden Längenmaass-Systeme abhängig. So wählte man als Stationslänge z. B. in Oesterreich entweder *50 Klafter* = *300 Fuss* oder auch *40 Klafter* = *240 Fuss*, letzteres, damit 100 Stationen auf eine Meile gehen, in Preussen *10 Ruthen* = *120 Fuss*, in Sachsen *100 Ellen* = *200 Fuss* u. s. w. In den Ländern, in welchen das Metermaass eingeführt ist, wählt man die

Stationslänge = ***100 Meter***,

so dass 10 Stationen auf einen Kilometer, 100 Stationen auf einen Myriameter gehen.

Man verwendet zum Stationiren eine Messkette, deren Länge in der Stationslänge aufgeht. Bei Stationen von *100 Meter* gibt man der Messkette am besten eine Länge von *20 Meter*, wohl auch *25 Meter*. Die Anwendung der Messkette auf horizontalem und geneigtem Boden lehrt die Geodäsie.

Die Stationspfähle erhalten etwa *5 Centim.* Dicke, *45 bis 60 Centim.* Länge. Auf eine am oberen Ende angeschnittene Fläche wird die Stationsnummer geschrieben.

Wir setzen im Folgenden voraus, dass die Axe nur aus Geraden und Kreisbögen oder aus Geraden und Kreisbögen mit eingeschalteten Uebergangskurven zusammengesetzt sei.

Zur Erleichterung oder gänzlichen Vermeidung der auf dem Felde beim Abstecken nöthigen Rechnungen bestehen Hilfsbücher mit Tabellen; wir erwähnen die Hilfsbücher von Gerstenberg, Hanhart und Waldner, Hecht, Knoll, Kröhnke, Morawitz, Sarrazin und Oberbeck, Winckel, Charpentier (französisch), Livingstone, Frost (englisch), Rudnicki (polnisch).

Bestimmungen für die Aufstellung der technischen Vorarbeiten zu Eisenbahn-Anlagen in Preussen: §. 3. c) Die Bahnlinie ist in Stationen von *100 Meter* Länge mit Unterabtheilungen von *50 Meter* einzutheilen, die mit vom Anfangspunkte der Bahn ab fortlaufenden Ziffern bezeichnet werden.

§. 4. Das Abstecken der geraden Linien. Das Abstecken beginnt im Allgemeinen mit dem Bezeichnen derjenigen Punkte, in welchen sich die Verlängerungen der geraden Strecken schneiden, der sogenannten Winkelpunkte. Das Abstecken derselben erfolgt nach dem Situationsplane von den benachbarten Objektpunkten aus nach bekannten Regeln

der Geodäsie. Wenn die Trasse mit Hilfe eines Schichtenplanes ermittelt wurde, so ist es wichtig, die Absteckung in Beziehung zur Aufnahme der Schichten zu bringen. Man bezeichnet die Winkelpunkte am besten durch Stangen von *3 bis 4 Meter* Höhe, an welchen oben zwei kleine, etwa *30 bis 40 Centim.* lange, *12 bis 16 Centim.* breite Brettchen, die mit einander einen rechten Winkel bilden, über einander genagelt werden. Auf diese Brettchen kann man die Nummer des Winkelpunktes schreiben.

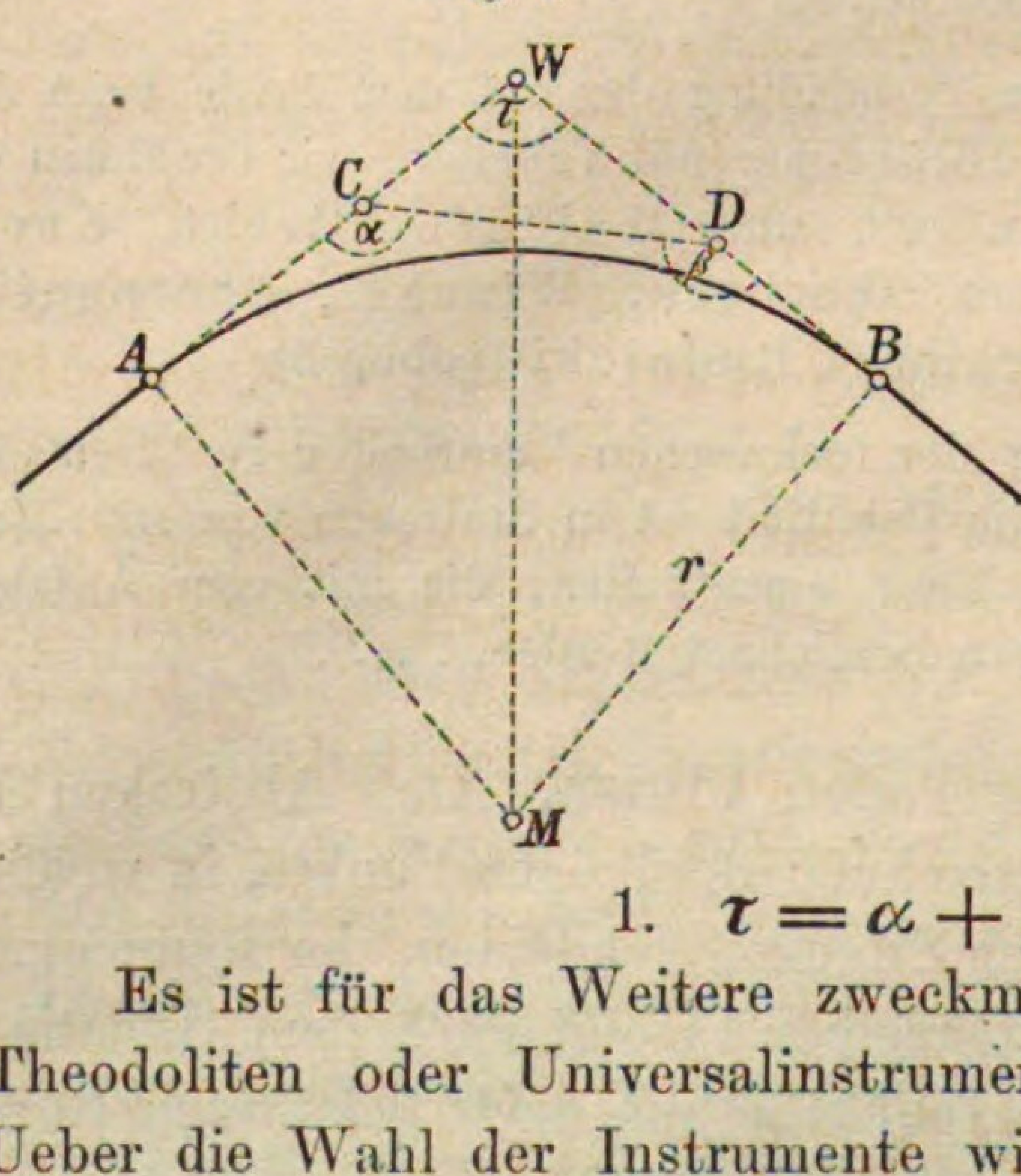
Sind die Winkelpunkte selbst nicht zugänglich, so steckt man dafür zwei andere zugängliche und sichere Punkte der Geraden oder ihrer Verlängerungen ab. Diese Punkte kann man zum Unterschiede von Winkelpunkten durch Stangen mit einem Brettchen bezeichnen.

Um die Stange beim Messen der Winkel herausnehmen und wieder einsetzen zu können und damit der Punkt, wenn die Stange gestohlen werden sollte, nicht verloren geht, lässt man in der Erde eine runde oder besser quadratische Röhre von *45 bis 60 Centim.* Länge ein.

Auch wenn die Winkelpunkte zugänglich sind, kann es unter Umständen gerathen erscheinen, andere Punkte zu bezeichnen, z. B. wenn die Stange am Winkelpunkte nicht genügend weit sichtbar sein sollte, wenn sie daselbst eine unsichere Stellung erhält, wenn der Centriwinkel des Bogens sehr gross ist (vergl. §. 7). u. s. w. Beide in den beiden Geraden befindliche Stangen numerirt man mit der Nummer des eigentlichen Winkelpunktes.

§. 5. Bestimmung der Tangentenwinkel. Den Winkel zwischen den beiden geraden Strecken nennt man, da diese Geraden Tangenten der Kurve sind, den Tangentenwinkel. Ist der Winkelpunkt zugänglich, so kann man von diesem aus den Tangentenwinkel mit Hülfe eines Winkelmessinstrumentes messen. Sind aber zwei andere Punkte *C* und *D* (Fig. 1) der Geraden abgesteckt, so misst man die Winkel α und β, welche *CD* mit den Geraden bildet. Der Tangentenwinkel τ ergibt sich alsdann durch die Beziehung

Fig. 1.



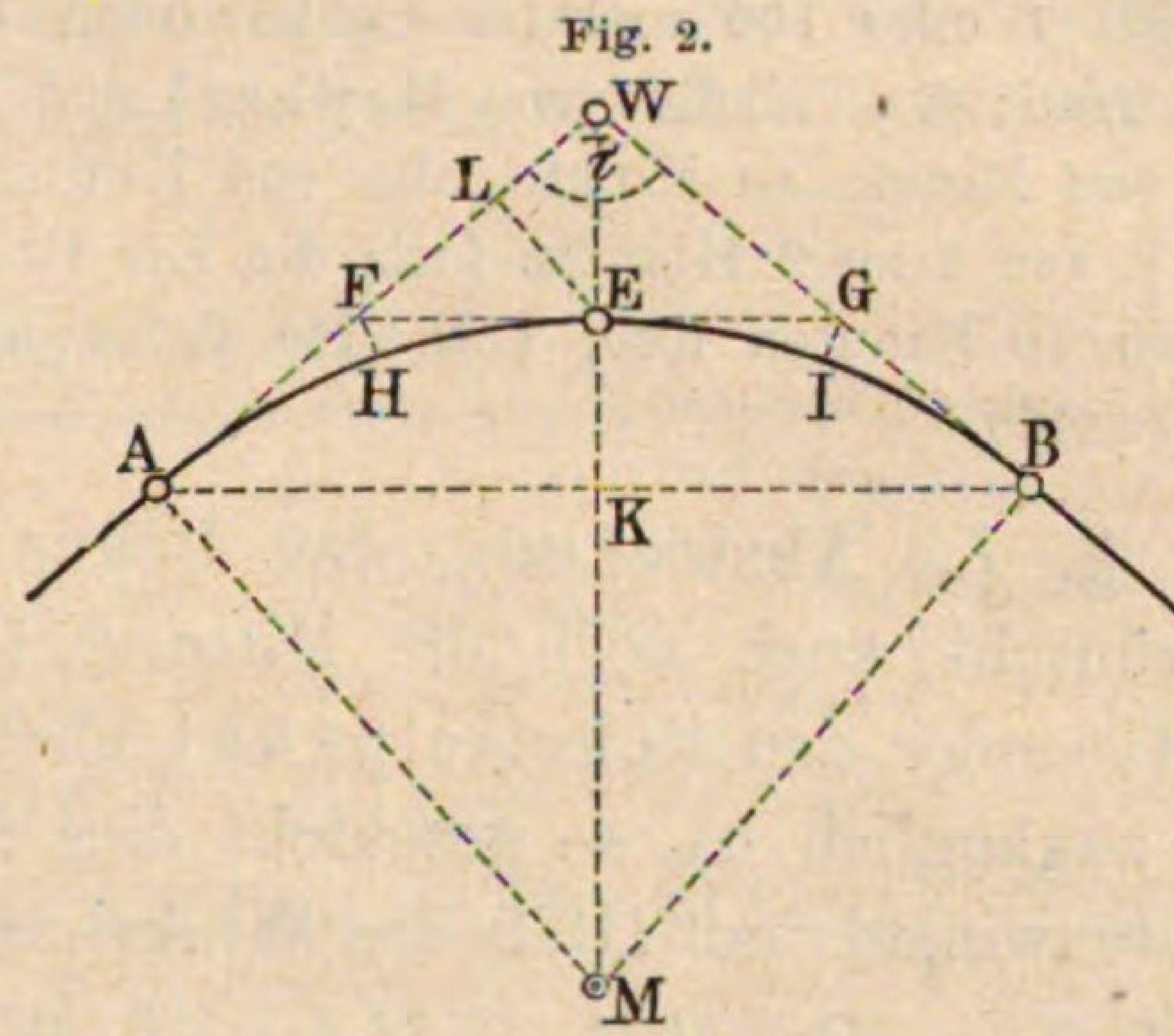
$$1.\quad \tau = \alpha + \beta - 180^\circ.$$

Es ist für das Weitere zweckmässig, die Winkel mit Hülfe eines Theodoliten oder Universalinstrumentes in Gradmaass zu bestimmen. Ueber die Wahl der Instrumente wird im Abschnitte über „Trassiren“

gesprochen werden. Nur bei vorläufigen Absteckungen bestimmt man den Winkel zuweilen dadurch, dass man mit Hülfe der Kette auf den Tangenten oder auf einer Tangente und der Verlängerung der anderen gleiche Stücke aufträgt und sodann den Abstand der Enden dieser Stücke misst.

A. Bögen ohne Uebergangskurven.

Fig. 2.



§. 6. Absteckung der Tangentialpunkte. Den Radius r des Bogens pflegt man in runder Zahl anzunehmen. Der Centriwinkel AMB des Bogens (Fig. 2) ist $= 180^0 - \tau$; daher ist die Länge $t = AW = BW$ der beiden Tangenten $= r \tan \frac{1}{2} (180^0 - \tau)$ oder

2. $$\boldsymbol{t = r \cot \tfrac{1}{2} \tau.}$$

Es frägt sich nun noch, wie genau man den Tangentenwinkel messen muss, um eine gewisse Genauigkeit im Bestimmen der Tangentenlänge zu erzielen. Die Differenziation des eben aufgestellten Ausdruckes gibt $dt = \frac{\frac{1}{2} r d\tau}{\sin^2 \frac{1}{2}\tau}$, also ist $\frac{dt}{t}$ $= \frac{\frac{1}{2} r d\tau.}{r \sin^2 \frac{1}{2}\tau . \cot \frac{1}{2}\tau} = \frac{d\tau}{\sin \tau}$. Ist daher Δt der Fehler, welchen man in der Bestimmung der Tangentenlänge macht, wenn man in der Bestimmung des Tangentenwinkels einen Fehler $\Delta\tau$ macht, so ist sehr nahe

$$arc\, \Delta\tau = \frac{\Delta t}{t} \sin \tau \text{ oder}$$

$$\Delta\tau = 3438 \frac{\Delta t}{t} \sin \tau \textit{ Minuten.}$$

Wird nun die Genauigkeit, der Kettenmessung entsprechend, zu $\frac{1}{2000}$ angenommen, so müsste der Winkel dem entsprechend auf $1{,}7 \sin \tau$, d. i. für $\tau = 90^0$ *bis* 150^0 auf *1,7 bis 0,7 Minuten* genau bestimmt werden. Im Allgemeinen wird also die Bestimmung auf *1 Minute* ausreichen.

Wenn der Winkelpunkt W (Fig. 1) zugänglich ist, so trägt man von diesem aus die Länge t auf beiden Geraden mit der Kette auf. Ist derselbe aber nicht zugänglich, so muss man die Länge c der Geraden CD messen. Alsdann ist $CW = \frac{c \sin \beta}{\sin \tau}$, $DW = \frac{c \sin \alpha}{\sin \tau}$, mithin

3. $$\boldsymbol{CA = \frac{c \sin \beta}{\sin \tau}, \quad DB = t - \frac{c \sin \alpha}{\sin \tau}.}$$

Die Tangentialpunkte oder den Bogenanfang und das Bogenende bezeichnet man durch zwei starke Pfähle mit den Zeichen ***BA*** und ***BE***. Seltener bezeichnet man sie durch Signalstangen mit Brettchen.

Die meisten Hülfsbücher enthalten Tabellen für die Tangentenlängen für den Radius 1 oder 100 und für Centriwinkel bis zu 100 bis 130 Grad, meist bis zu 120 Grad; die Tabellen von Hanhart und Waldner, sowie von Winckel schreiten von Minute zu Minute, die von Kröhnke, sowie von Sarrazin und Oberbeck von 2 zu 2 Minuten fort; die Tabellen von Hecht und Knoll schreiten von 10 zu 10 Minuten fort, enthalten dafür aber die Differenzen für 1 Minute und 1 Secunde.

§. 7. Absteckung der Bogenmitte. Bei langen Bögen ist es erwünscht, auch noch die Mitte E (Fig. 2) des Bogens, die Bogenmitte oder den Scheitelpunkt abzustecken. Wenn der Winkelpunkt W zugänglich ist, so geschieht dies am besten durch Halbiren des Tangentenwinkels mit Hülfe des Winkelinstrumentes und Auftragen der Länge $WE = c$. Da $MW = MA \sec \angle WMA = r \operatorname{cosec} \frac{1}{2} \tau$ ist, so wird

$$4. \quad c = r\left(\operatorname{cosec} \frac{1}{2} \tau - 1\right).$$

Ist der Punkt W nicht abgesteckt, so steckt man E am besten mit Hilfe der Mitteltangente FG ab, indem man die Längen AF und BG aufträgt und FG halbirt. Hierbei ist $AF = BG = FE = GE$. Bezeichnen wir diese Längen mit s, so ist $s = r \tan \frac{1}{4} \angle AMB$, d. i.

$$5. \quad s = r \tan\left(45^0 - \frac{1}{4} \tau\right).$$

Seltener wird es rathsam sein, die Bogenmitte durch Halbiren der Sehne AB und Auftragen der Pfeilhöhe $KE = r\left(1 - \sin \frac{1}{2} \tau\right)$ oder durch die Abscisse AL und Ordinate LE abzustecken.

Wenn der Centriwinkel des Bogens sehr gross ist (etwa grösser, als 90 Grad), so steckt man am besten die Scheiteltangente direkt nach dem Plane aus, indem man anstatt des Hauptwinkelpunktes W (Fig. 2) die Nebenwinkelpunkte F und G bezeichnet. Einestheils entfällt hiermit das Messen sehr langer Tangenten, anderntheils wird auch die projektirte Lage des Bogens auf dem Terrain mit grösserer Genauigkeit erreicht.

Man kann die Bogenmitte durch einen Pfahl mit dem Zeichen ***BM*** bezeichnen.

Bei sehr langen Bögen steckt man wohl auch die in der Mitte von AE und BE liegenden Punkte H und J ab.

Die Hülfsbücher von Hanhart und Waldner, Knoll, Kröhnke, sowie von Sarrazin und Oberbeck enthalten auch Tabellen für die Bogenlänge AEB, für die halbe Sehne $AK = BK$ oder ganze Sehne AB, für die Pfeilhöhe $KE = LE$ und

für den Scheitelabstand WE für den Radius 1 oder 1000 und für Centriwinkel bis zu 100, 120 oder 130 Grad und für die im vorigen §. angegebenen Intervalle. Die Tabellen von Hecht enthalten nur den Scheitelabstand WE, die von Winckel nur die Bogenlänge.

§. 8. Krümmungstabelle. Die Hauptelemente der sich beim Stationiren ergebenden einzelnen geraden und gekrümmten Strecken stellt man zum weiteren Gebrauche in einer Tabelle mit der Ueberschrift Krümmungstabelle oder Richtungstabelle etwa nach dem folgenden Schema zusammen:

Krümmungstabelle.

Lauf. Nummer	Bezeichnung der Strecke		Länge (Meter)			Radius (Met.)	Tangentenwinkel	Tangente (Meter)	Sinn der Krümmung; nach:	Bemerkungen
	von	bis	Gerade	Kurve	Uebergangsk.					
6	59 + 6,0	64 + 13,6	507,6	—	—	—	—	—	—	
7	64 + 13,6	71 + 59,1	—	745,5	30	500	94° 34′	461,66	rechts	
8	71 + 59,1	87 + 89,5	1630,4	—	—	—	—	—	—	
9	87 + 89,5	102 + 89,4	—	1499,9	0	1200	108° 37′	862,02	links	

In die Rubrik „Bemerkungen“ kann man nach Befinden auch noch andere Maasse der Bögen aufnehmen, als die in besondere Rubriken eingetragenen.

§. 9. Absteckung der Bögen im Allgemeinen. Nach diesen Vorbereitungen schreitet man zur Absteckung der im Bogen liegenden Stationspunkte. Die Entfernung der fortlaufenden numerirten Stationspunkte wählt man ebenso gross, wie in der geraden Strecke; jedoch ist es bei kleinen Radien nöthig, noch Zwischenpunkte einzuschalten, und bei den meisten Methoden der Kurvenabsteckung wird dieselbe erleichtert, wenn man die Entfernung der Punkte gleich der Kettenlänge wählt. Bezeichnen wir die Länge der Sehne und des Bogens für eine Stationslänge mit s und b, den entsprechenden Centriwinkel mit α, so ist

$$\frac{s}{b} = \frac{\sin \frac{1}{2} \alpha}{\operatorname{arc} \frac{1}{2} \alpha} = 1 - \frac{\alpha^2}{24} + \ldots = 1 - \frac{b^2}{14 r^2} + \ldots$$

Gestattet man im Unterschiede zwischen Bogen und Sehne einen relativen Maximalfehler Δ, so ist also sehr nahe $1 - \Delta \overline{\overline{<}} 1 - \frac{b^2}{24 r^2}$, also

$$b \overline{\overline{<}} r \sqrt{24 \Delta}.$$

Die Genauigkeit der Kettenmessung ist im ebenen Terrain etwa $\frac{1}{1000}$, es wird also genügen, wenn man $\Delta = \frac{1}{2000}$ annimmt. Alsdann wird $b \overline{\overline{<}} r \sqrt{0{,}012}$, d. i. sehr nahe $b \overline{\overline{<}} \frac{1}{10} r$.

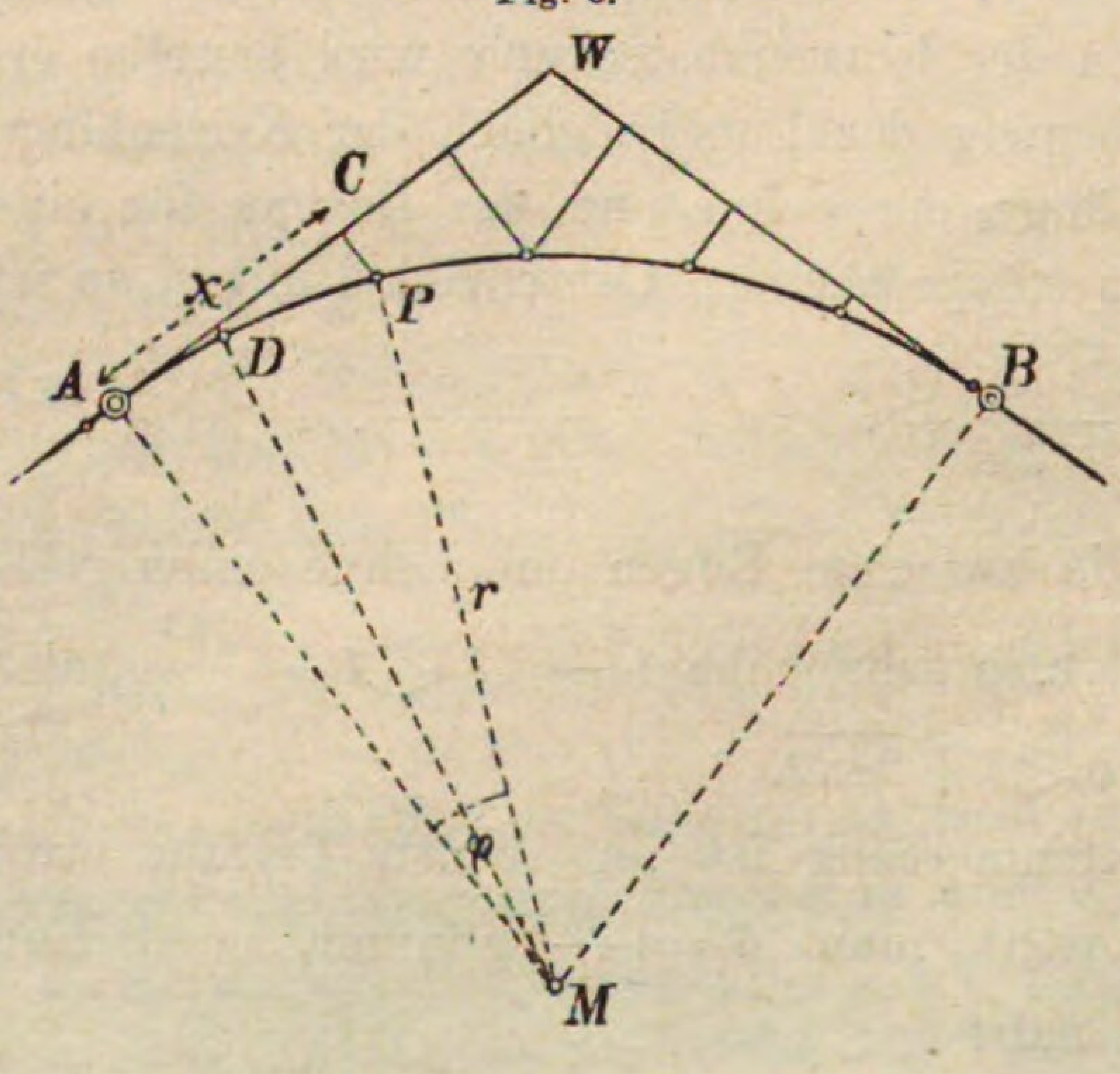
Bei Radien von 200^m, 400^m, 600^m würde also die Entfernung der Punkte $\overline{\lt}$ 20, 40, 60^m sein müssen; man wird also bei allen Bögen, deren Radius $\overline{>}$ 200^m ist, mit einer der Kettenlänge gleichen Entfernung auskommen. Es ist jedoch nicht immer nöthig, alle diese Punkte durch bleibende Pfähle zu bezeichnen; es genügt vielmehr, bei Anwendung einer Stationslänge von 100^m die Entfernung der bleibenden Punkte bei Radien von *200 bis* 500^m zu 25^m, bei Radien von *500 bis* 1000^m zu 50^m, bei grösseren Radien zu 100^m anzunehmen. Die zwischen den eigentlichen Stationspunkten liegenden Punkte bezeichnet man alsdann bezüglich mit *a*, *b*, *c* und mit *a*.

Hat man den letzten Punkt in der geraden Strecke abgesteckt, so misst man dessen Entfernung bis zum Bogenanfange, wodurch sich nun die Entfernung des ersten Bogenpunktes vom Bogenanfange ergibt. Ebenso muss man aber auch die Entfernung des letzten Bogenpunktes vom Bogenende kennen, wenn man, wie dies gewöhnlich geschieht, den Bogen von beiden Enden aus absteckt. Dies geschieht, indem man die Länge des ganzen Bogens aus dem Radius und Centriwinkel berechnet und hiervon die Länge aller ganzen Stationen und die Entfernung des ersten Bogenpunktes vom Bogenanfange abzieht. Zur Berechnung der Länge können die jeder Logarithmentafel beigegebenen Tabellen der Länge der Kreisbögen für den Radius Eins dienen. Auch die meisten Hülfsbücher zum Bogenabstecken (siehe §. 7) enthalten die Bogenlängen.

Zur Absteckung der Stationspunkte in den Bögen sind verschiedene Methoden üblich; die wichtigsten derselben wollen wir im Folgenden besprechen.

§. 10. Absteckung durch Koordinaten von der Tangente aus.

Fig. 3.



Diese Methode besteht darin, dass man die auf der Tangente AW vom Tangentialpunkte A aus gemessenen Abscissen $AC = x$ und zugehörigen Ordinaten $CP = y$ aufträgt. Ist Bogen $AP = s$ und der zugehörige Centriwinkel $AMP = \varphi$, so ist

$$6.\quad \operatorname{arc} \varphi = \frac{s}{r}.$$

$$7.\quad \begin{cases} x = r \sin \varphi, \\ y = r\,(1 - \cos \varphi) \\ \quad = 2r \sin^2 \frac{1}{2} \varphi. \end{cases}$$

Ist die Entfernung des ersten Bogenpunktes von $A = b_0$ und die gewählte Entfernung der Bogenpunkte $= b$, so ist die Bogenlänge s für die einzelnen Punkte $= b_0,\ b_0 + b,\ b_0 + 2b,\ b_0 + 3b, \ldots$

Die Reihenverwandlung gibt $x = r\varphi\left(1 - \frac{1}{6}\varphi^2 + \frac{1}{120}\varphi^4 - \ldots\right)$, $y = \frac{1}{2}r\varphi^2\left(1 - \frac{1}{12}\varphi^2 + \frac{1}{360}\varphi^4 - \ldots\right)$, oder, wenn man $\varphi = \frac{s}{r}$ setzt,

$$8.\quad \begin{cases} x = s\left(1 - \dfrac{s^2}{6r^2} + \dfrac{s^4}{120r^4} - . + \ldots\right), \\ y = \dfrac{s^2}{2r}\left(1 - \dfrac{s^2}{12r^2} + \dfrac{s^4}{360r^4} - . + \ldots\right). \end{cases}$$

Für Punkte mit kleinen Ordinaten lässt sich daher setzen:

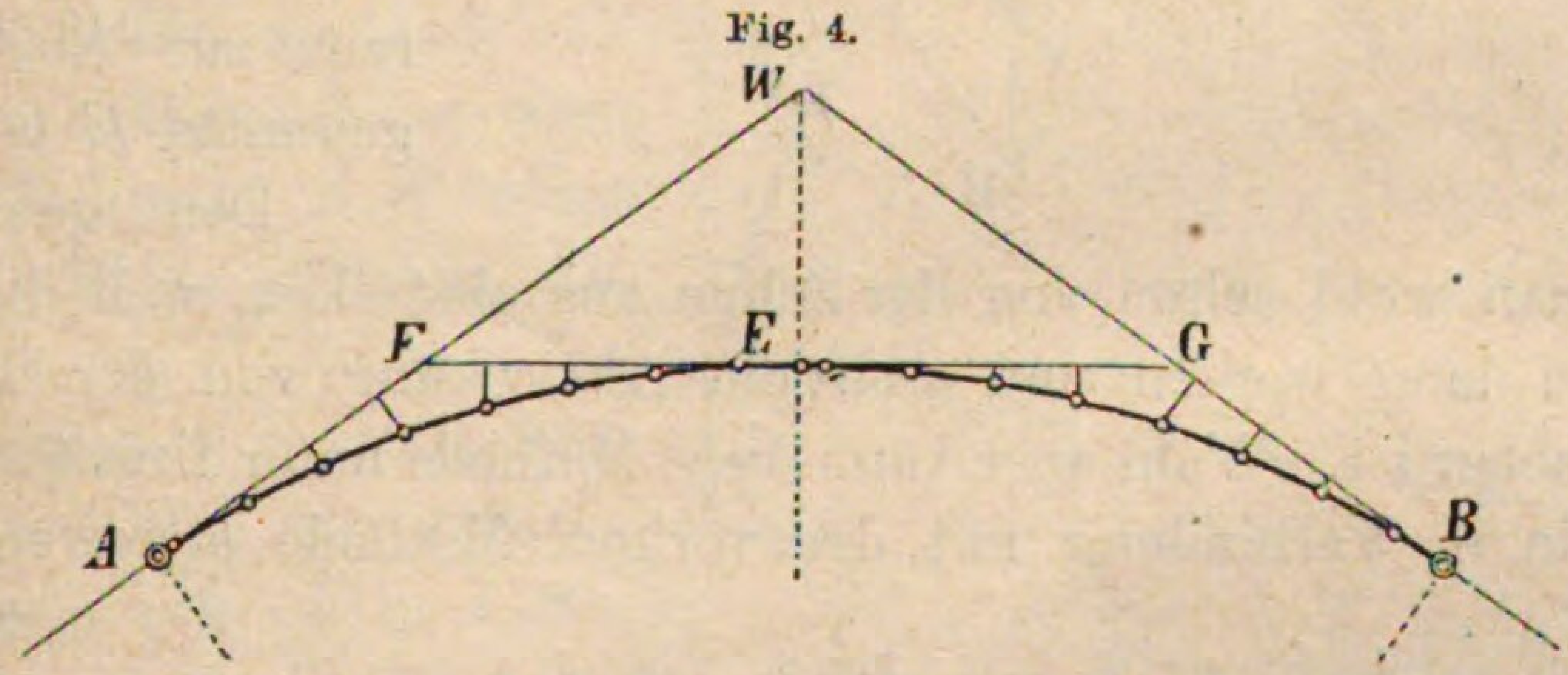
$$9.\quad x = s\left(1 - \frac{s^2}{6r^2}\right),\quad y = \frac{s^2}{2r}.$$

Der hierbei in den Ordinaten begangene relative Fehler ist nach 8 sehr nahe $\frac{s^2}{12r^2}$. Setzen wir denselben $\overline{\overline{<}}\ \frac{1}{1000}$, so ist $s \overline{\overline{<}}\ r\sqrt{0{,}012}$, d. i. sehr nahe $s \overline{\overline{<}}\ 0{,}1\,r$. Für die Abscisse ergibt sich in gleicher Weise $s \overline{\overline{<}}\ r\sqrt{0{,}006}$, d. i. $s \overline{\overline{<}}\ 0{,}08\,r$. Bei grösseren Bögen, die allerdings meist vorkommen werden, sind die genaueren Formeln 7 oder 8 zu verwenden.

Die Abscissen trägt man mit der Kette, die Ordinaten mit Messstäben auf. Bei kurzen Ordinaten bis zu etwa 3 Meter Länge kann man die Ordinaten nach dem Augenmaasse errichten; bei längeren Ordinaten wendet man am besten den Winkelspiegel oder das Winkelprisma an; aber auch hier geht man mit den Ordinaten höchstens bis zu 20 Meter.

Um aber diese langen Ordinaten überhaupt zu vermeiden, wendet man Hülfstangenten an. Am meisten eignet sich hierzu die Mittel- oder Scheiteltangente *FG* (Fig. 4), indem man den Bogen in vier Theilen mit den Abscissenaxen *AF*, *EF*, *EG* und *BG* absteckt.

Fig. 4.



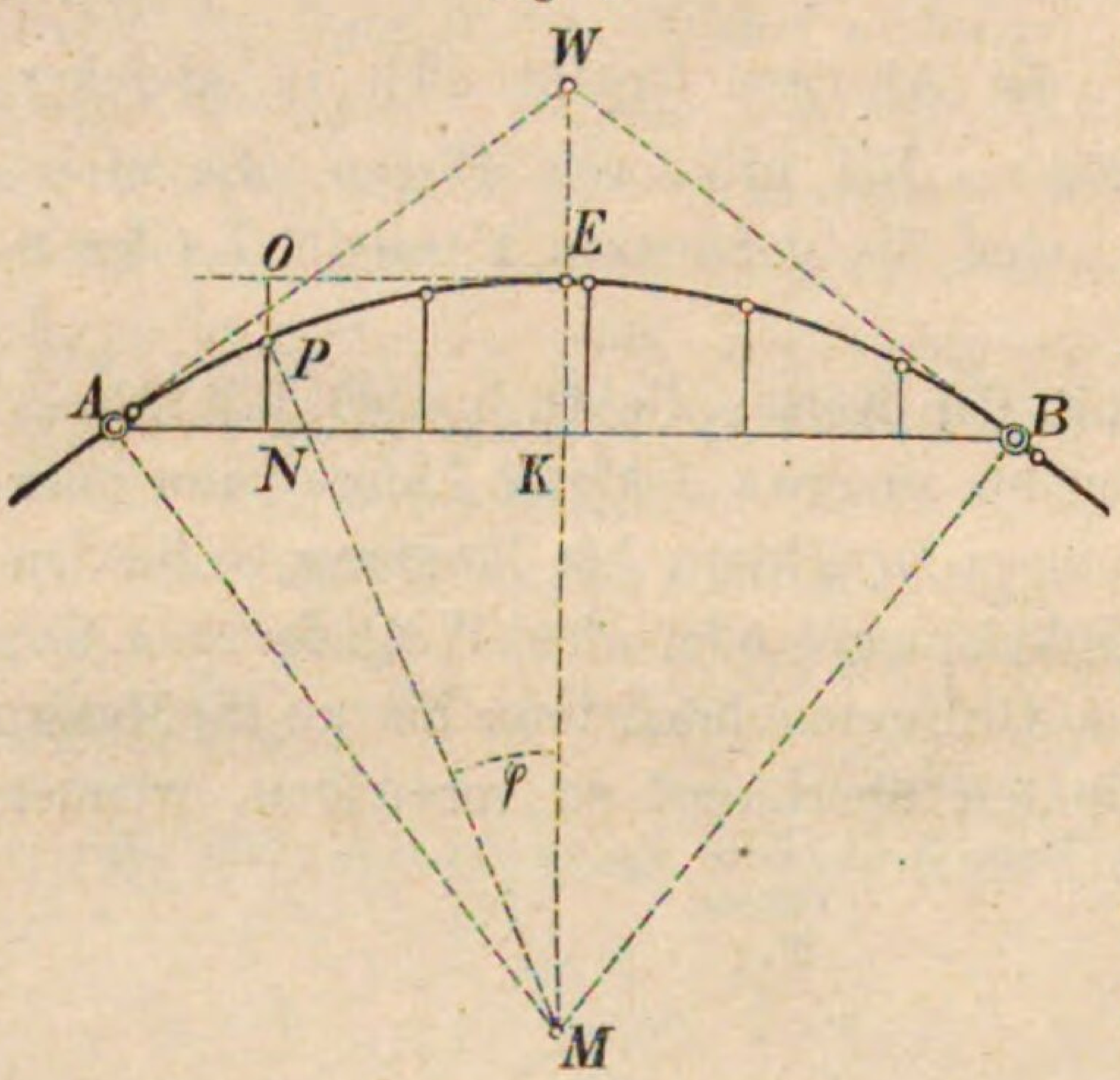
Es können dem Abstecken von diesen Tangenten aus oder dem Abstecken der Hülfstangenten selbst Hindernisse in den Weg treten. In solchen Fällen kann es wünschenswerth erscheinen, in einem bereits abgesteckten Bogenpunkte eine Tangente an die Kurve zu legen. Es erfolgt dies am besten durch den Abstand der Tangente von einem bereits abgesteckten zweiten Bogenpunkte.

In den Hülfsbüchern von Hanhart und Waldner, Kröhnke, Winckel befinden sich Tabellen, welche für einzelne bestimmte Radien, z. B. für $r = 10, 15, 20$.. $50, 60, \ldots 100, 120, 125, 150, 178, 200, 225, 250$.. $500, 600, \ldots 1000, 1200, 1500, 2000, 3000 \ldots 10000$, und für einzelne bestimmte Bogenlängen, z. B. bei $l = 300$ für $s = 5, 10, 15, 20, \ldots 310$ die zugehörige Abscisse und Ordinate geben. Die hiernach absteckbaren Punkte fallen allerdings im Allgemeinen nicht mit Stationspunkten zusammen; für diese muss das x und y direkt berechnet oder interpolirt werden.

Auch die Hülfsbücher von Hecht, Knoll, sowie von Sarrazin und Oberbeck enthalten Tabellen, indess mit dem Unterschiede, dass diese Tabellen für einzelne bestimmte Radien und für bestimmte in gleichen Intervallen fortschreitende Abscissen die zugehörigen Ordinaten liefern. Stationspunkte lassen sich hiernach im Allgemeinen nicht abstecken; dieselben müssten vielmehr nachträglich durch Messen in der Kurve eingeschaltet werden.

§. 11. Absteckung durch Koordinaten von der Sehne aus. Als Anfang der Abscissen wählt man hier am besten die Sehnenmitte K (Fig. 5).

Fig. 5.



Fällen wir vom Bogenpunkte P auf AB die Senkrechte PN und setzen Bogen $EP = s$, $KN = x$, $PN = y$, $EK = h$, den Abstand OP von der Mitteltangente $= y_1$, und den Winkel $PMK = \varphi$, so ist

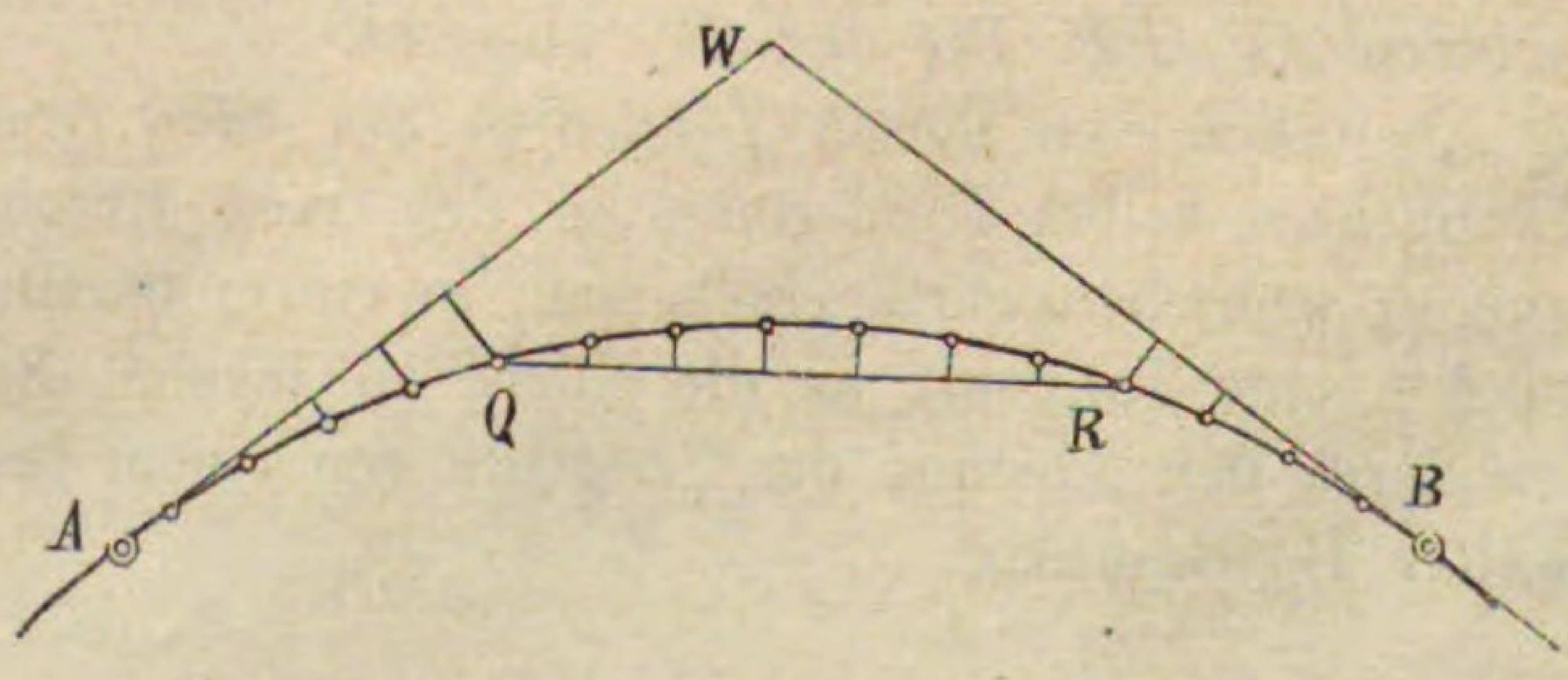
$$10. \quad arc\ \varphi = \frac{s}{r},$$

$$11. \quad \begin{cases} x = r \sin \varphi, \\ y = h - y_1 \\ = h - r(1 - \cos \varphi). \end{cases}$$

Die Bogenhöhe h war bereits zur Absteckung der Bogenmitte E berechnet.

Den ganzen Bogen wird man wohl selten von der Sehne aus abstecken, weil die Ordinaten meist zu lang werden und weil die Absteckung von der Tangente aus einfacher ist. Wohl aber kann diese Methode unter Umständen geeignet sein, sie in Verbindung mit der vorigen Methode anzuwenden, indem man

Fig. 6.

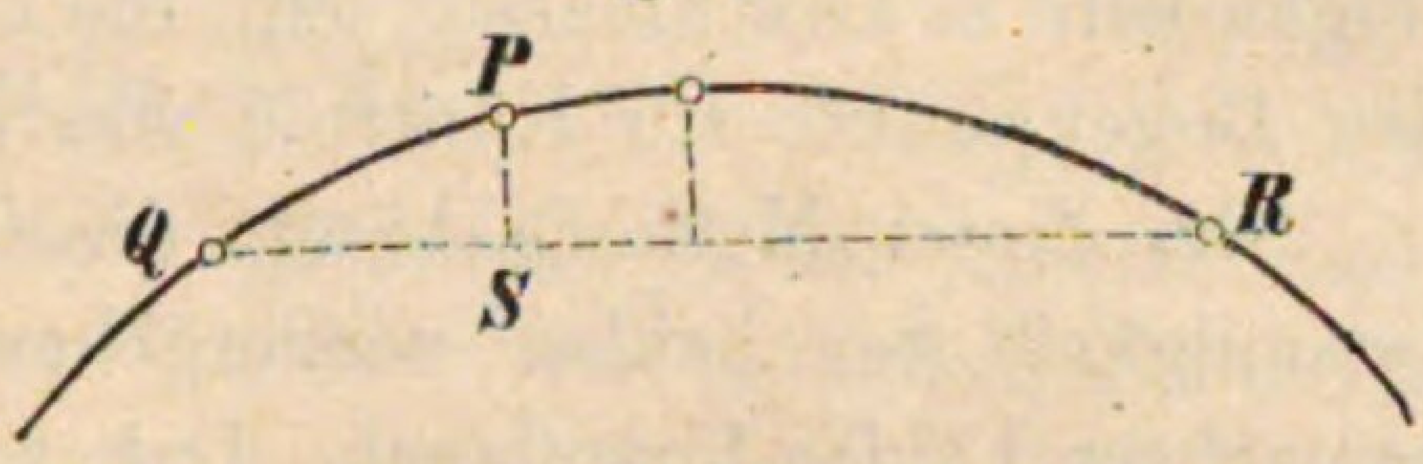


zunächst von den Bogenenden aus so viel Punkte absteckt, bis die Ordinaten zu lang werden, die so abgesteckten letzten Bogenpunkte Q und R (Fig. 6) durch

eine Sehne QR verbindet und nun die noch übrigen Bogenpunkte von QR aus in der gezeigten Weise absteckt.

Zuweilen sind zwischen zwei in irgend welcher Weise abgesteckten Bogenpunkten Q und R (Fig. 7) noch andere Punkte P einzuschalten. Ist der Bogen nur flach, so kann man ihn bei der Berechnung der Ordinate $PS = y$ als Parabel betrachten. Setzt man $QS = x'$, $RS = x''$, $QR = s$ und die Pfeilhöhe $= h$, so ist unter der gemachten Annahme $y = \frac{4x'x''h}{s^2}$. Nun aber ist $\frac{1}{4}s^2 = 2rh$, $h = \frac{s^2}{8r}$, mithin

Fig. 7.

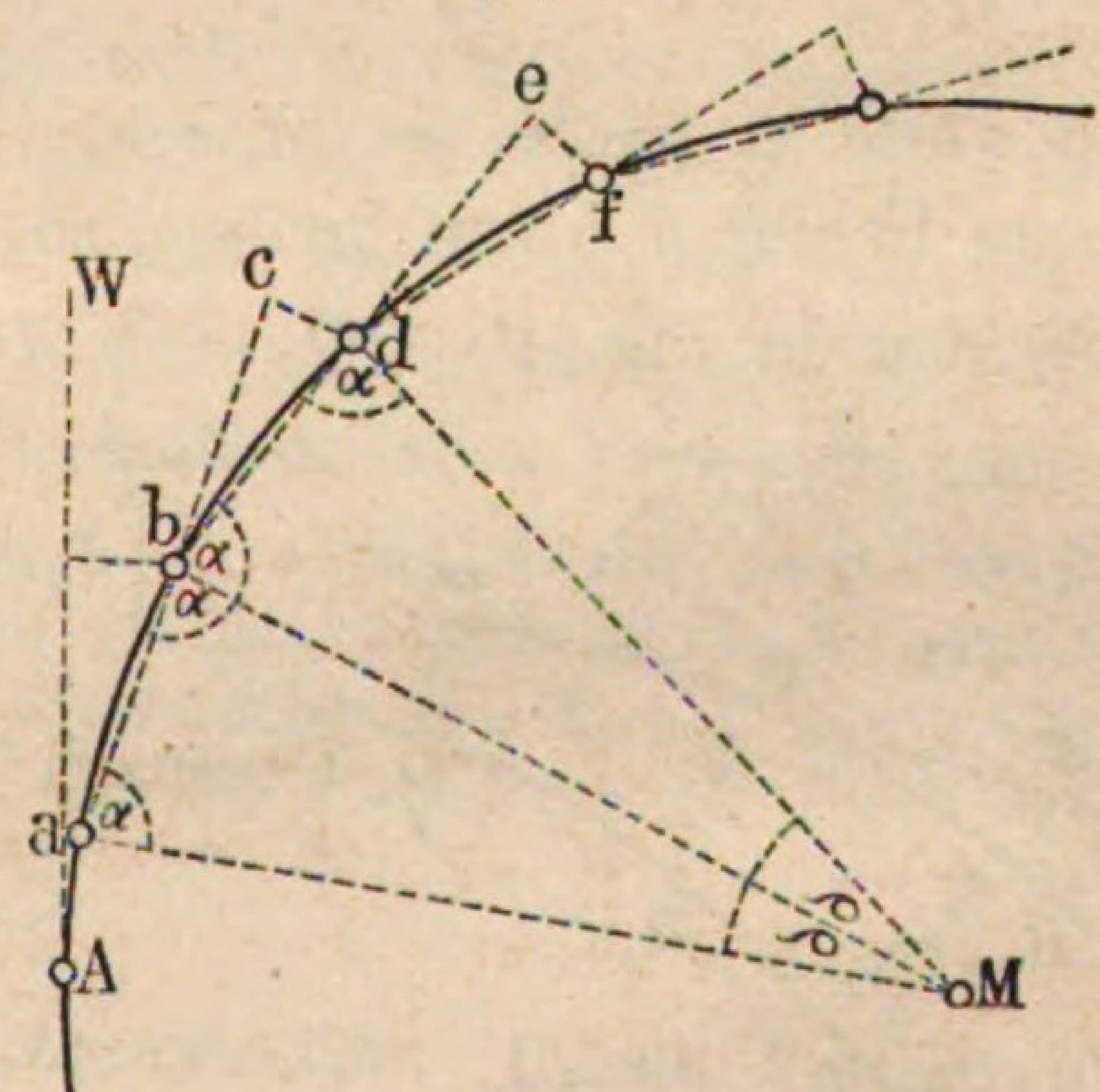


$$12.\quad \boldsymbol{y = \frac{x'x''}{2r}}.$$

Die im vorigen § angegebenen Tabellen können auch zur Absteckung von der Sehne aus verwendet werden, da sie das x, h und y enthalten, so dass y durch eine blosse Subtraktion bestimmt werden kann.

§. 12. Absteckung durch Abstände von der Sekante aus. Die beiden ersten Bogenpunkte a und b (Fig. 8) steckt man durch Ordinaten von der Tangente aus ab. Die Ordinaten wird man hierbei meist nach der einfachen Formel 9. berechnen können. Die Abscissen trägt man nicht auf, sondern man spannt die Kette in der Richtung der Sehne an und verrückt den zweiten Kettenstab so weit, bis er von der Tangente AW einen der berechneten Ordinate gleichen Abstand hat.

Fig. 8.



Man setzt jetzt den einen Kettenstab in a ein und richtet den anderen in der Verlängerung von ab in c ein. Jetzt verrückt man diesen Kettenstab bei gespannter Kette um das zu berechnende Stück cd.

Bezeichnen wir den Centriwinkel aMb mit δ, die sich gleichen Winkel baM, abM und dbM mit α, so ist $\delta = 180^0 - 2\alpha$ und $\angle\, cbd = 180^0 - 2\alpha = \delta$; mithin ist $\Delta cbd \sim \Delta Mab$; also verhält sich, wenn wir noch $ab = bc = bd = s$ und $cd = a$ setzen, $a : s = s : r$, mithin ist

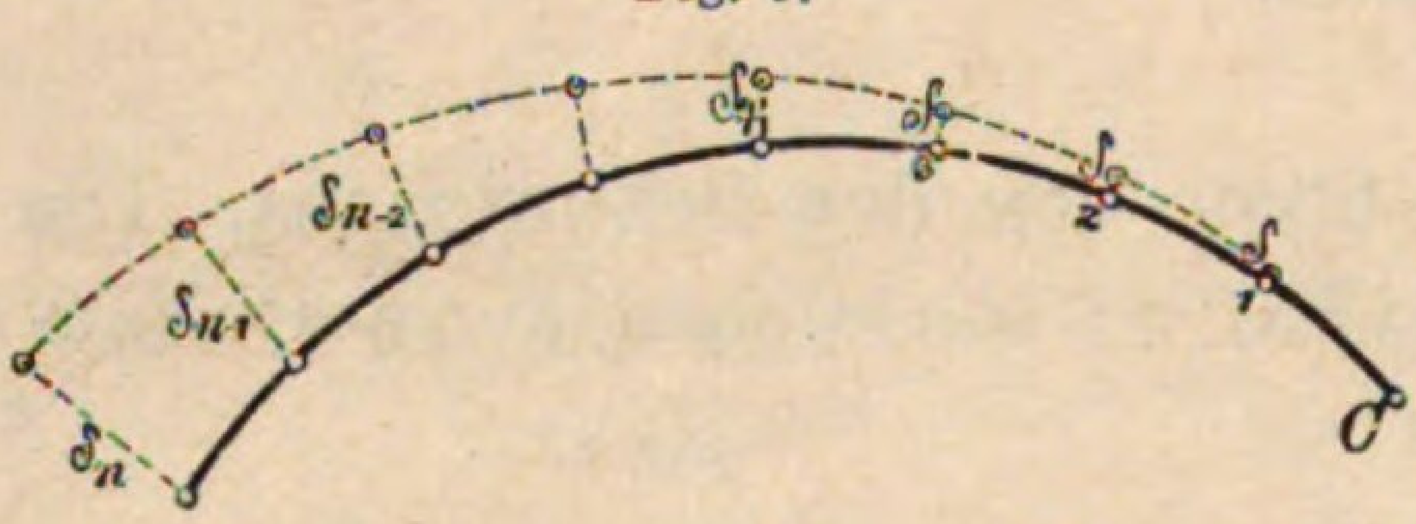
$$13.\quad \boldsymbol{a = \frac{s^2}{r}}.$$

In gleicher Weise steckt man jeden Bogenpunkt mit Hülfe der beiden vorhergehenden Bogenpunkte ab. Bei kurzen Bögen kann man das Verfahren bis zum letzten Bogenpunkte, den man nun zur Kontrole auch von der Tangente aus absteckt, fortsetzen. Grössere Bögen steckt man von beiden Bogenenden aus bis zur Bogenmitte ab. Bei sehr grossen Bögen wird es zweckmässig sein, die zwei der Bogenmitte zunächst liegenden Bogenpunkte zur Kontrole von der Mitteltangente aus abzustecken.

Bei dieser Methode hängt die Genauigkeit jedes Punktes von der Genauigkeit der beiden vorhergehenden Punkte ab, so dass sich ein gemachter Fehler fortpflanzt. Daher wird der letzte in dieser Weise abgesteckte Bogenpunkt meist nicht mit dem direkt abgesteckten zusammenfallen; oder, wenn von beiden Enden aus abgesteckt wird, so wird man statt des mittleren Punktes zwei verschiedene Punkte erhalten. Sonach wird eine nachträgliche Korrektur nöthig.

Wir setzen zur Ausführung dieser Korrektion voraus, dass man bei jedem neuen Punkte immer wieder denselben Fehler δ und zwar stets nach derselben Richtung mache. Wir bezeichnen ferner die Abweichung der ausgesteckten Punkte, vom ersten von der Sekante aus abgesteckten Punkte angefangen, mit $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \ldots \delta_n$. Alsdann ist $\delta_1 = \delta$. Machte man beim nächsten Punkte keinen neuen Fehler,

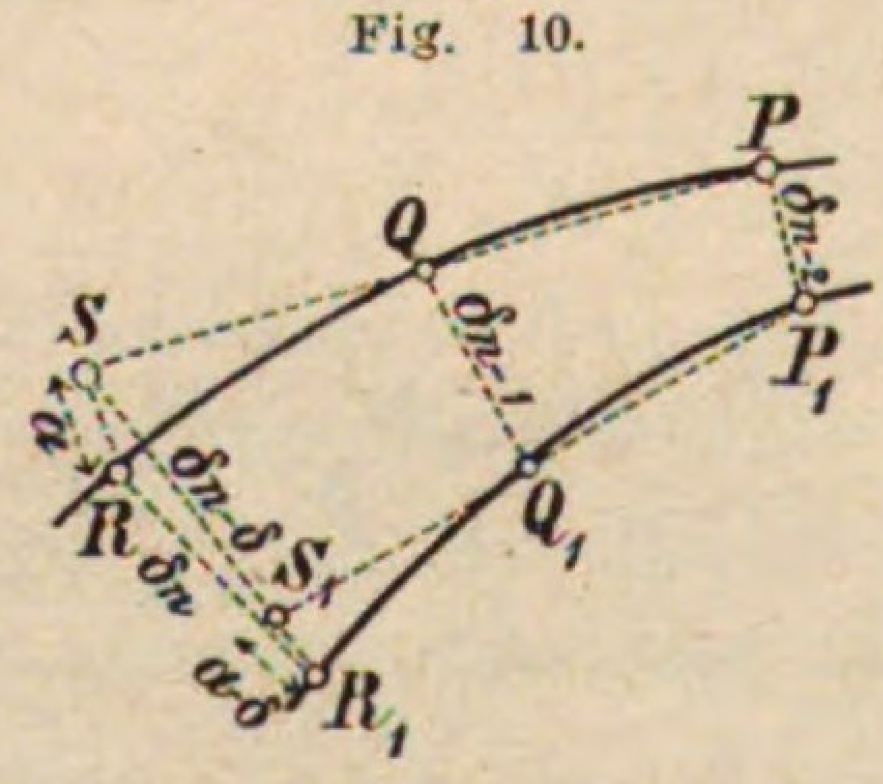
Fig. 9.



so würde $\delta_2 = 2\delta_1 = 2\delta$ sein; da nun aber der Annahme zufolge der neue Fehler δ hinzu kommt, so ist $\delta_2 = 2\delta_1 + \delta = 3\delta$. Allgemein ist offenbar in Fig. 10 $QQ_1 = \frac{1}{2}(PP_1 + SS_1)$, oder, da $PP_1 = \delta_{n-2}$, $QQ_1 = \delta_{n-1}$, $SS_1 = RR_1 - \delta = \delta_n - \delta$ ist, $\delta_{n-1} = \frac{1}{2}\left[\delta_{n-2} + (\delta_n - \delta)\right]$ oder

$$\delta_{n-2} - 2\delta_{n-1} + \delta_n = \delta.$$

Fig. 10.



Demnach wird

$$\delta_{n-2} - 2\delta_{n-1} + \delta_n = \delta$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$\delta_1 - 2\delta_2 + \delta_3 = \delta$$
$$-2\delta_1 + \delta_2 = \delta$$
$$\delta_1 = \delta.$$

Multiplicirt man diese Gleichungen der Reihe nach mit den natürlichen Zahlen $1, 2, 3, \ldots n$ und addirt sie sodann, so verbleibt links nur δ_n, rechts die Summe $1 + 2 + 3 + \ldots + n = \frac{1}{2} n (n + 1)$. Sonach ergibt sich

$$14. \quad \delta_n = \frac{1}{2} n (n + 1) \delta.$$

Somit ist $\delta_1 = \delta$, $\delta_2 = 3\delta$, $\delta_3 = 6\delta$, $\delta_4 = 10\delta$, $\delta_5 = 15\delta$, $\delta_6 = 21\delta$ u. s. w. Beträgt der jedesmalige Fehler nur *0,5 Centim.* $= 0{,}005^m$, so

könnte der Fehler bei *10, 20, 30* Punkten bezüglich bis auf $0{,}28^m$, $1{,}50^m$, $2{,}33^m$ gehen. Da indess nicht anzunehmen ist, dass sämmtliche Fehler in demselben Sinne gemacht werden, so wird der wirkliche Fehler allerdings kleiner sein. Nach 13 ergibt sich

$$15.\quad \delta = \frac{2\,\delta_n}{n\,(n+1)}.$$

Hiernach berechnet man aus dem Abstande δ_n des zuletzt nach der gezeigten Methode abgesteckten Punktes vom wirklichen Punkte das δ. Als wirklichen Punkt nimmt man entweder den direkt von der Tangente aus abgesteckten Punkt, oder wenn man von beiden Enden aus nach der Mitte zu absteckt, einen zwischen den beiden letzten Punkten liegenden Punkt an; ist der Abstand desselben von den abgesteckten Punkten c_1 und c_2, der Abstand dieser Punkte selbst $= c$ und die Anzahl der auf beiden Seiten von der Sekante aus abgesteckten Punkte n_1 und n_2, so ist $c_1 = \frac{1}{2} n_1 (n_1 + 1)\,\delta$, $c_2 = \frac{1}{2} n_2 (n_2 + 1)\,\delta$, $c_1 + c_2 = c$. Hieraus folgt

$$16.\quad \delta = \frac{2c}{n_1\,(n_1+1) + n_2\,(n_2+1)}.$$

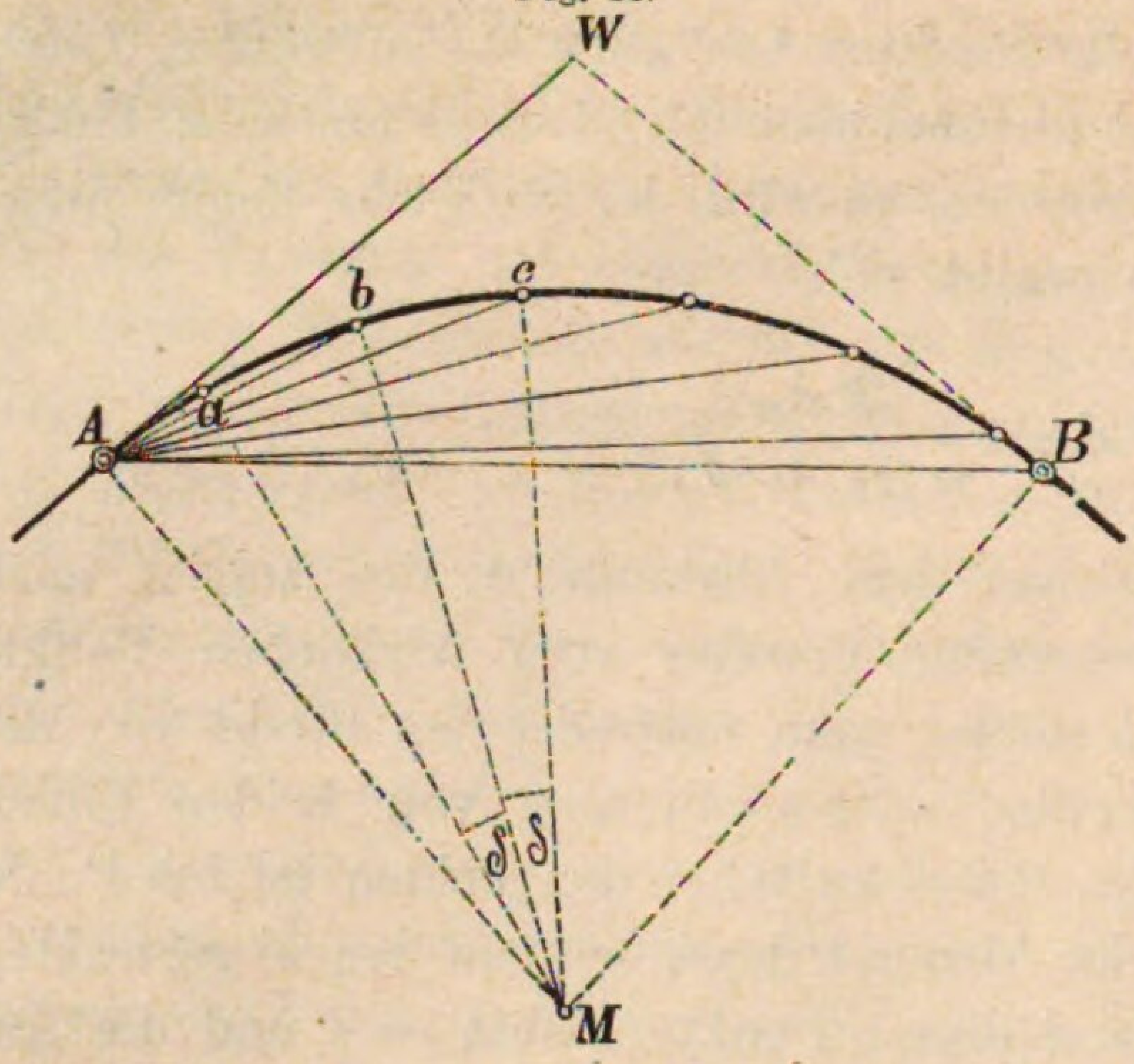
Für $n_1 = n_2$ wird natürlich $c_1 = c_2 = \frac{1}{2}\,c$. Nach 14. berechnet man nun für jeden Punkt das δ_n und verrückt hiernach die sämmtlichen abgesteckten Punkte.

Bei einem ähnlichen, von Stoll angegebenen Verfahren verlängert man die zwei Kettenlängen entfernten Punkte verbindende Sehne und steckt von der Verlängerung aus zwei Punkte ab. Auch kann man die Tangente anstatt der Sehne zu Grunde legen. Jedoch stehen diese und ähnliche Verfahrungsweisen an Einfachheit dem soeben beschriebenen Verfahren nach.

Tabellen sind für das angegebene Verfahren kaum nöthig, da sich nach Formel 13 *a* leicht rechnen lässt. Das Hülfsbuch von Hanhart und Waldner enthält indess eine hierauf bezügliche Tabelle. Die Hülfsbücher von Knoll, sowie von Sarrazin und Oberbeck enthalten Tabellen für die Absteckung mit Hülfe der Tangente statt der Sehne.

§. 13. Absteckung durch Polarkoordinaten. Dieses Verfahren basirt auf dem Satze, dass alle auf gleichen Bögen stehenden Periferiewinkel eines Kreises gleich gross und zwar gleich dem halben, auf demselben Bogen stehenden Centriwinkel sind. Hiernach ist in Fig. 11 $\angle\, aAW = \frac{1}{2} \angle\, AMa$, $\angle\, aAb' = \angle\, aAb = \ldots = \frac{1}{2}\,\delta$, wenn δ den zur Bogenlänge $ab = bc = \ldots$ gehörigen Centriwinkel bedeutet. Setzt man $\angle\, aAW = \varepsilon_0$, $\angle\, aAb = \angle\, bAc = \ldots = \varepsilon$, $Aa = s_0$, $ab = bc = \ldots = s$, so wird $arc\,\delta = \frac{s}{r}$, $\varepsilon = \frac{1}{2}\,\delta$; also

Fig. 11.



17. $$\text{arc}\,\varepsilon = \frac{2r}{s}$$

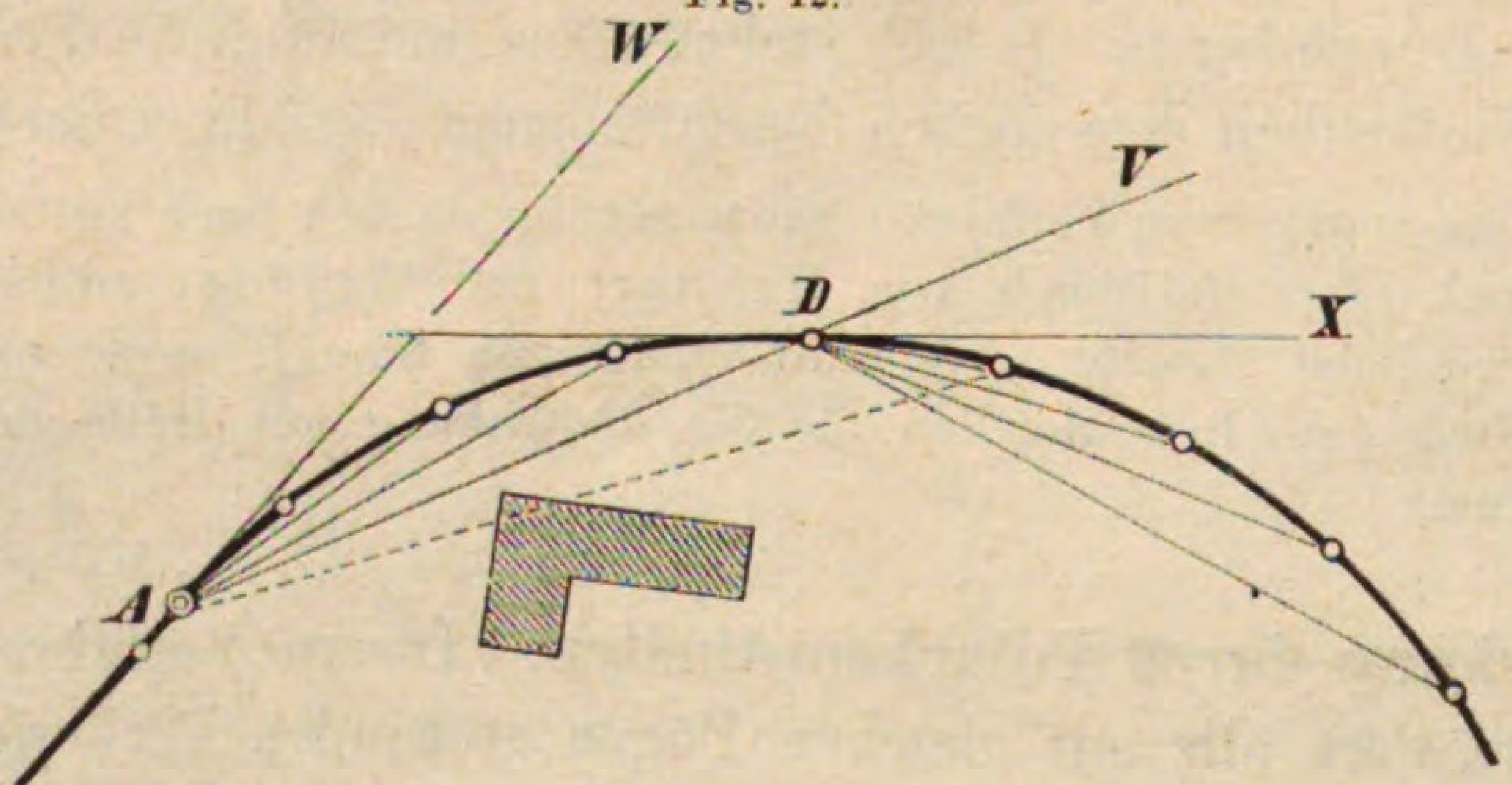
und $\varepsilon_0 = \varepsilon \frac{s_0}{s}$, wonach ε und ε_0 in Gradmaass zu berechnen ist.

Die Ausführung des Verfahrens besteht nun darin, dass man sich mit dem Winkelinstrumente in A aufstellt; es wird nun die Alhidade auf Null gestellt, das Fernrohr auf AW eingerichtet und der Limbus festgestellt. Man dreht jetzt die Alhidade um den Winkel ε_0 und richtet in der Visur den von A um $Aa = s_0$ entfernten Kettenstab ein. Jetzt stellt man die Alhidade auf den Winkel $\varepsilon_0 + \varepsilon$ ein, lässt den einen Kettenstab in a einsetzen, richtet den andern in der Visur ein und fährt in gleicher Weise fort.

Kurze Bögen kann man von einem Ende aus abstecken; lange Bögen steckt man von jedem Ende aus zur Hälfte ab. Auch kann man noch die Absteckung vom Scheitel aus vornehmen, den man der Kontrole wegen ohnehin meist direkt absteckt.

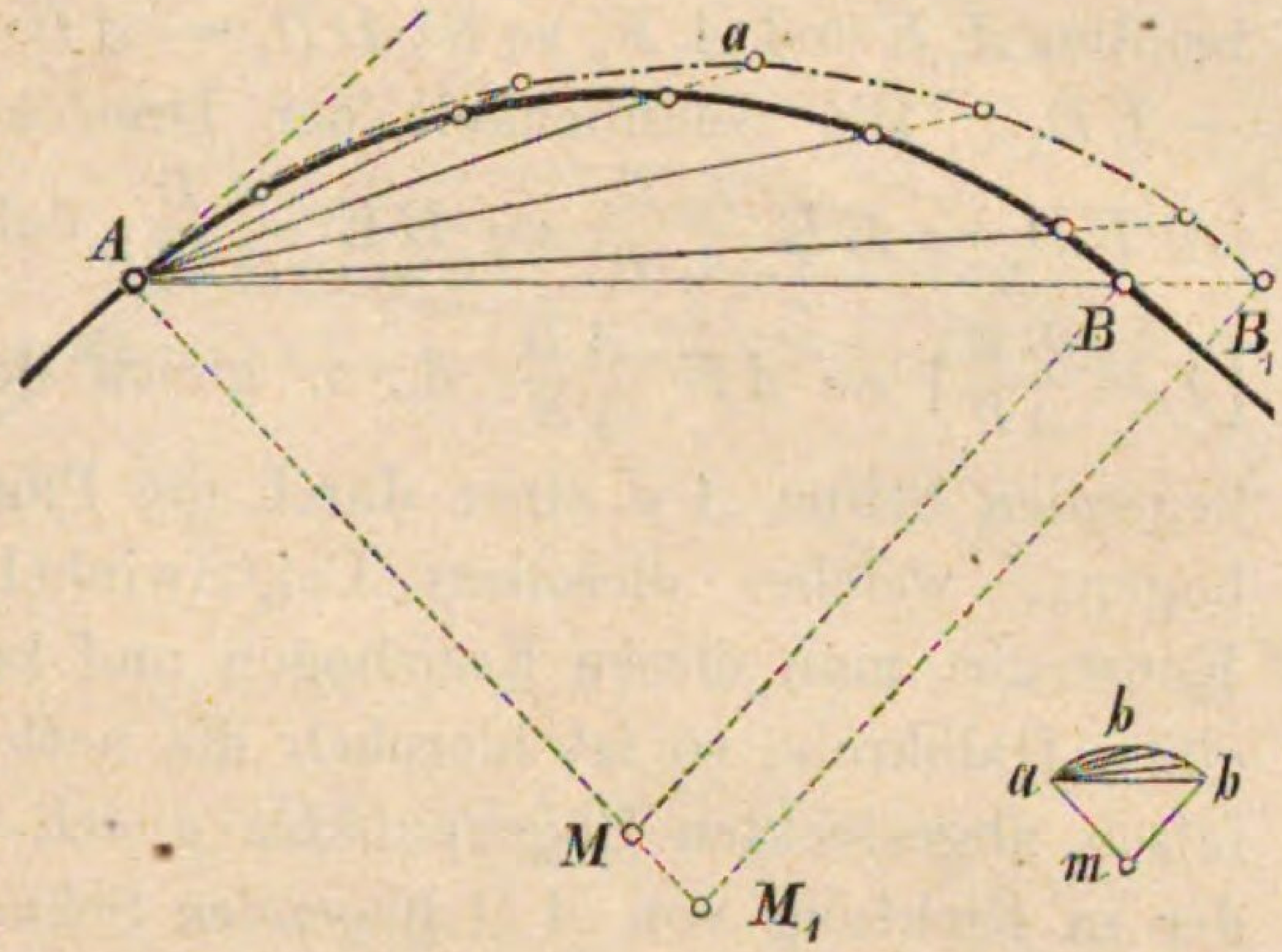
Wenn man von einem oder verschiedenen Anfängen aus in Folge von Hindernissen nicht alle Punkte übersehen kann, so stellt man das Instrument auf dem zuletzt von A aus abgesteckten Punkte D (Fig. 12) auf; der Winkel, welchen die Tangente DX in D mit AD bildet, ist gleich dem Winkel WAD, d. i. gleich dem zum Bogen AD gehörigen Peripheriewinkel ε_n. Stellt man daher die Alhidade auf Null ein, orientirt das durchgeschlagene Fernrohr nach A hin und stellt nun den Limbus fest, so hat man das jetzt zurück zu schlagende Fernrohr auf die Winkel $\varepsilon_n + \varepsilon$, $\varepsilon_n + 2\varepsilon$, ... einzustellen, um die Visuren nach den nächsten Bogenpunkten zu erhalten; die Alhidade ist also gerade ebenso einzustellen, als wenn das Instrument über A stehen geblieben wäre.

Fig. 12.



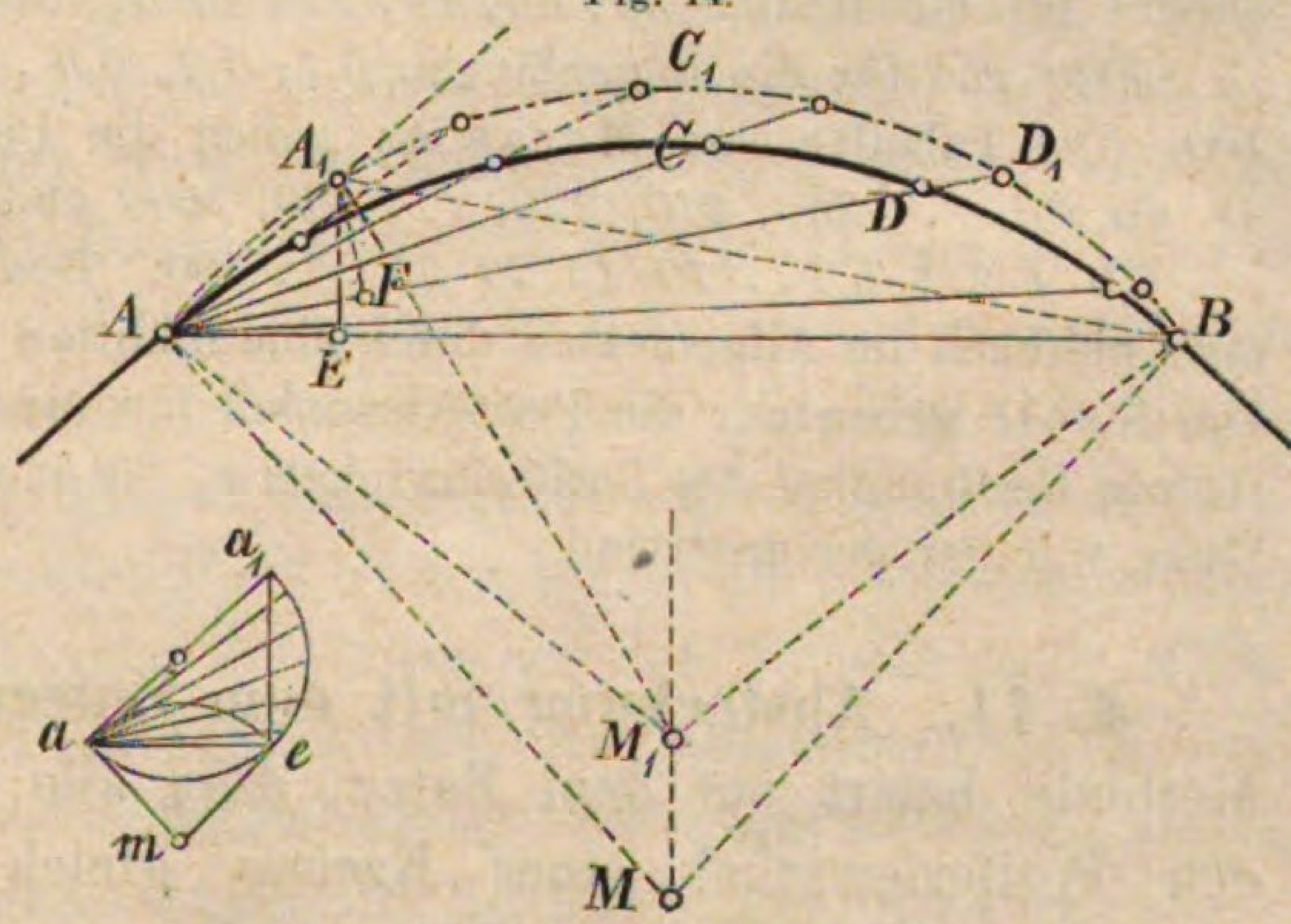
Macht man in der Kettenmessung einen konstanten Fehler, so steckt man, wenn man die Winkelmessung als richtig voraussetzt, einen falschen Kreisbogen AB_1 (Fig. 13) aus, welcher nebst seiner Eintheilung dem Kreisbogen AB ähnlich ist. Daher stehen die von A ausgehenden Sehnen beider Bögen in gleichem Verhältnisse, es verhalten sich daher auch die Differenzen der Sehnen beider Bögen, d. h. die Stücke, um welche die abgesteckten Punkte in Richtung der Sehnen zu verrücken sind, ebenso wie die Sehnen selbst. Hiernach ist es leicht, die nothwendigen Verrrückungen der einzelnen Punkte zu bestimmen. Bei flachen Bögen kann man statt des Verhältnisses der Sehnen auch das Verhältniss der von A aus gemessenen Bogenlängen einführen. Man kann aber auch diese Verrückungen als Sehnen eines dem abgesteckten Kreisbogen ähnlichen Kreisbogens, dessen Sehne ab (Fig 13 b) gleich dem Fehler $B\,B_1$ ist, konstruiren.

Fig. 13.



Anstatt mit der Absteckung des Bogens am Bogenanfange A, wo das Instrument aufzustellen ist, zu beginnen, kann man auch am anderen Ende B_1 oder, wenn vorher die Bogenmitte abgesteckt war, von dieser aus beginnen. Diese Methode wird der vorigen oft vorgezogen, weil man, wenn man in der Längenmessung einen Fehler begeht, dennoch eine sich an die Tangente anschliessende Kurve erhält, was bei der vorigen Methode (Fig. 13) nicht der Fall ist. Allein der Anschluss wird nicht tangential (Fig. 14), und der grösste Fehler $A\,A_1$ (Fig. 14) kann noch grösser werden, als der grösste Fehler $B\,B_1$ (Fig. 13) bei der vorigen Methode, so dass eventuell auch hier eine Korrektur des abgesteckten Bogens nöthig wird.

Fig. 14.



Setzen wir auch hier voraus, dass in der Winkelmessung kein Fehler begangen werde, so wird man bei einem konstanten Fehler in der Ketten-

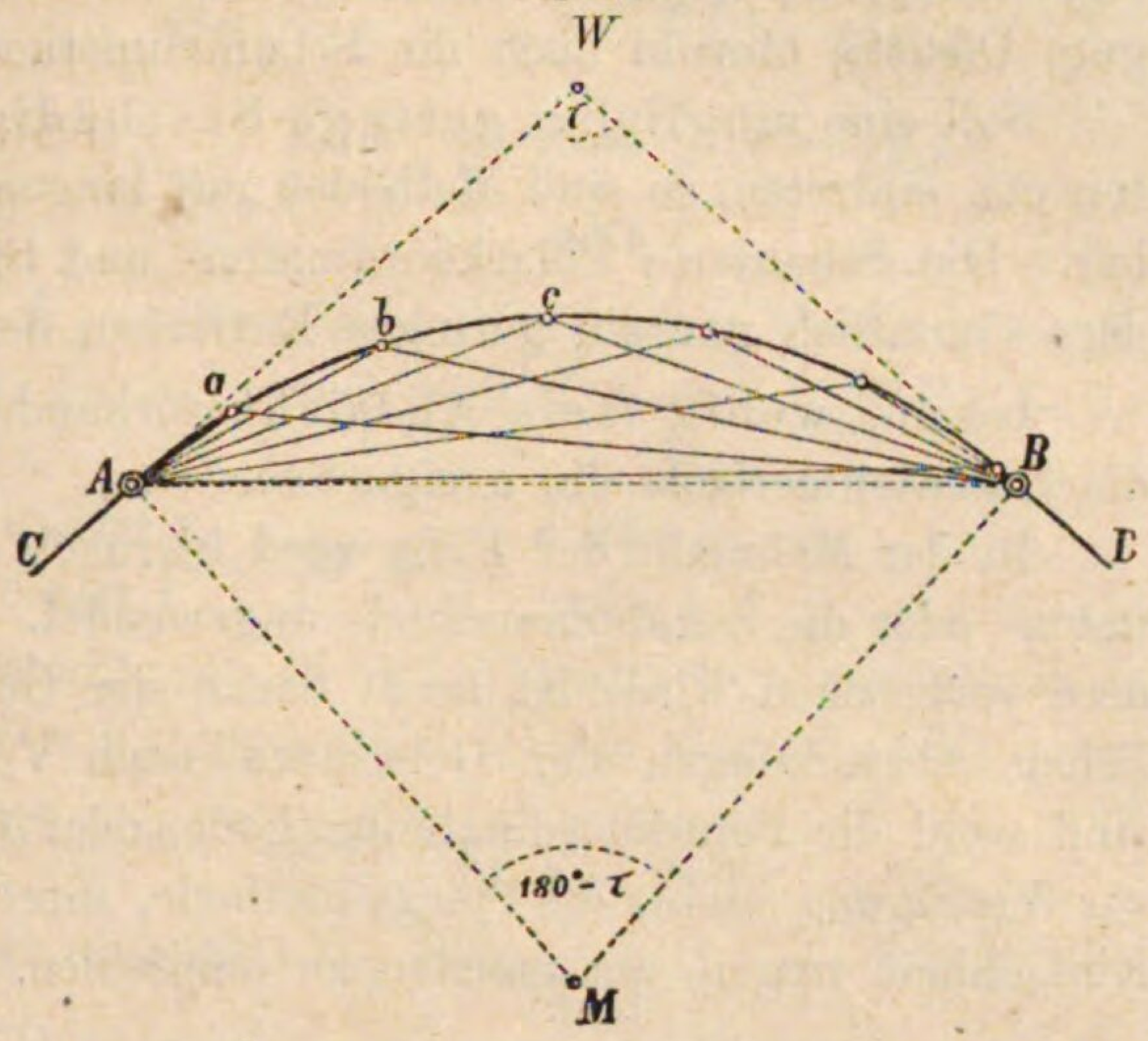
messung statt des Kreisbogens ACB einen Kreisbogen $A_1 C_1 B$, welcher durch A geht, abstecken. Da der Centriwinkel sowohl des Bogens $A_1 C_1 B$, als des Bogens ACB doppelt so gross, als der Winkel $A_1 AB$ ist, so sind beide Bögen, nebst ihrer Eintheilung, ähnlich. Fällt man von A_1 auf die Sehne AB und auf die beliebige Sehne AD die Senkrechten $A_1 E$ und $A_1 F$, so ist $DD_1 = AF + FD_1 - AD = AF - (AD - FD_1)$. Die Aehnlichkeit der Dreiecke $D_1 A_1 F$ und $BA_1 E$ halber ist $FD_1 = BE \frac{A_1 D_1}{A_1 B} = BE \frac{AD}{AB_1}$, daher ist $AD - FD_1 = AD \left(1 - \frac{BE}{AB}\right) = AE \frac{AD}{AB}$ d,. i. gleich der in der Richtung von AD liegenden Sehne $A\,d$ eines durch die Punkte A und E gelegten Kreisbogens, welcher dieselben Centriwinkel, wie der Bogen AB hat. Konstruirt man diesen Kreisbogen und konstruirt ausserdem über AA_1 einen Halbkreis, so ist hiernach die nothwendige Verrückung DD_1 des falsch abgesteckten Bogenpunktes gleich der Differenz Fd (Fig. 14 b) der in Richtung von AD liegenden Sehnen des Halbkreises und Kreisbogens. Die Konstruktion lässt sich leicht mit Hülfe eines gewöhnlichen Zirkels und kleinen Winkels im Notizbuche, unter Umständen auf dem Terrain selbst ausführen; ist AA_1 nur klein, so genügt es sogar, die nöthigen Verrückungen schätzungsweise zu bestimmen. Bei flachen Bögen verhalten sich die Verrückungen nahezu, wie die von B aus gemessenen Bogenlängen.

Einzelne Hülfsbücher enthalten auch Tabellen für diese Absteckungsweise. Die Tabellen von Gerstenberg enthalten die Periferiewinkel für die Radien *1000, 1050, 1100, 1150, . . . 3000, 3100, 3200, . . . 10000* und für die Bogenlängen *100, 200, 300, . . . 900, 1000* und zwar in Graden, Minuten und Secunden, sowie nur in Secunden, letzteres, um die für den ersten Periferiewinkel nöthige Addition zu erleichtern. Die Tabellen von Hanhart und Waldner enthalten die Peripheriewinkel für die Radien *50, 60, 70, . . . 1000, 1100, 1200, . . . 2000, 2500, 3000, . . . 5000* und für die Bogenlängen *0,1, 0,2, 0,3 . . . 0,9 1 2 3 . . . 10, 20, 30, . . . 100.* Die Tabellen von Morawitz geben die Periferiewinkel für die Radien *50, 55, 60, 65, . . . 200, 210, 220, . . . 990, 1000* und für die Bogenlängen *0,1 0,2 0,3 . . . 0,9 1 2 3 4 . . . 10 15 20 25 . . . 100.* Den ersten Periferiewinkel ε_0 wird man hiernach im Allgemeinen durch eine Addition bestimmen müssen. Die Tabellen von Knoll geben nur die Periferiewinkel für die Sehnenlängen *5, 10, 15,* so dass sie zur Bestimmung des Periferiewinkels ε_0 für eine beliebige Sehnen- oder Bogenlänge weniger geeignet sind.

§. 14. Absteckung mit dem Spiegelinstrumente. Auch diese Methode basirt auf dem Satze, dass alle auf derselben Sehne stehenden Periferiewinkel eines Kreises gleich sind. Hiernach sind die Periferiewinkel AaB, AbB, AcB, . . . (Fig. 15) gleich und zwar $= \frac{1}{2}(360^0 - \angle AMB) = \frac{1}{2}(180^0 + \tau) = 90^0 + \frac{1}{2}\tau$, oder auch gleich den

Winkeln CAB und DBA, welche die Sehne AB mit den geraden Strecken AC und BD bildet.

Fig. 15.



Zur Absteckung könnte nun ein Spiegelsextant verwendet werden; besser aber dient hierzu ein eigends für diesen Zweck konstruirtes, aber auf gleichem Principe beruhendes Spiegelinstrument, der sogen. Arcograf, welches dem Adams' schen Winkelspiegel ähnlich ist, sich aber von diesem dadurch unterscheidet, dass die beiden Spiegel gegen einander verstellbar sind. Man stellt sich mit diesem Instrumente über A auf und stellt die Spiegel so, dass sich die Stange in B und das doppelt reflektirte Bild der Stange in C (oder umgekehrt) decken. Jeder Punkt wird nun in der Weise abgesteckt, dass man den einen Kettenstab in dem vorigen bereits abgesteckten Punkte einsetzt und den anderen Kettenstab bei gespannter Kette so lange verrückt, bis sich in dem auf dem Kettenstabe aufgesetzten Spiegelinstrumente die Stangen und A und B decken, und zwar die eine direkt, die andere doppelt reflektirt gesehen. Jedwede Rechnung entfällt hierbei.

§. 15. Vergleich der Methoden. Die allgemeinen Anforderungen, welche man an die Absteckungsmethode stellen kann, sind Genauigkeit und Einfachheit. Was zunächst die Genauigkeit anlangt, so sind die Methoden mittels Koordinaten von der Tangente oder Sehne aus die genauesten, wenn man die Ordinaten nur kurz wählt. Diesen schliessen sich die Polarkoordinaten- und die Spiegelmethode an. Am wenigsten genau ist die Sekantenmethode, obwohl wir hier ein Mittel besitzen, eine, wenn auch nicht ganz vollkommene, Korrektion vornehmen zu können. Was die Einfachheit anlangt, so stehen hierin die Methoden mittels Koordinaten von der Tangente oder der Sehne aus den übrigen nach, wesshalb diese Methoden weniger in Gebrauch sind. Am einfachsten sind die Sekanten- und die Spiegelmethode; die Polarkoordinatenmethode wird indess häufig der grösseren Genauigkeit wegen der Sekantenmethode vorgezogen.

Die obwaltenden Terrainverhältnisse können aber noch besondere Eigenschaften fordern.

In bergigem Terrain ist die Spiegelmethode nicht mehr anwendbar, wesshalb diese sonst sehr zweckmässige Methode nur sehr wenig angewendet wird. Die Polarkoordinatenmethode leistet hier besonders gute Dienste, obwohl auch die Sekantenmethode anwendbar ist.

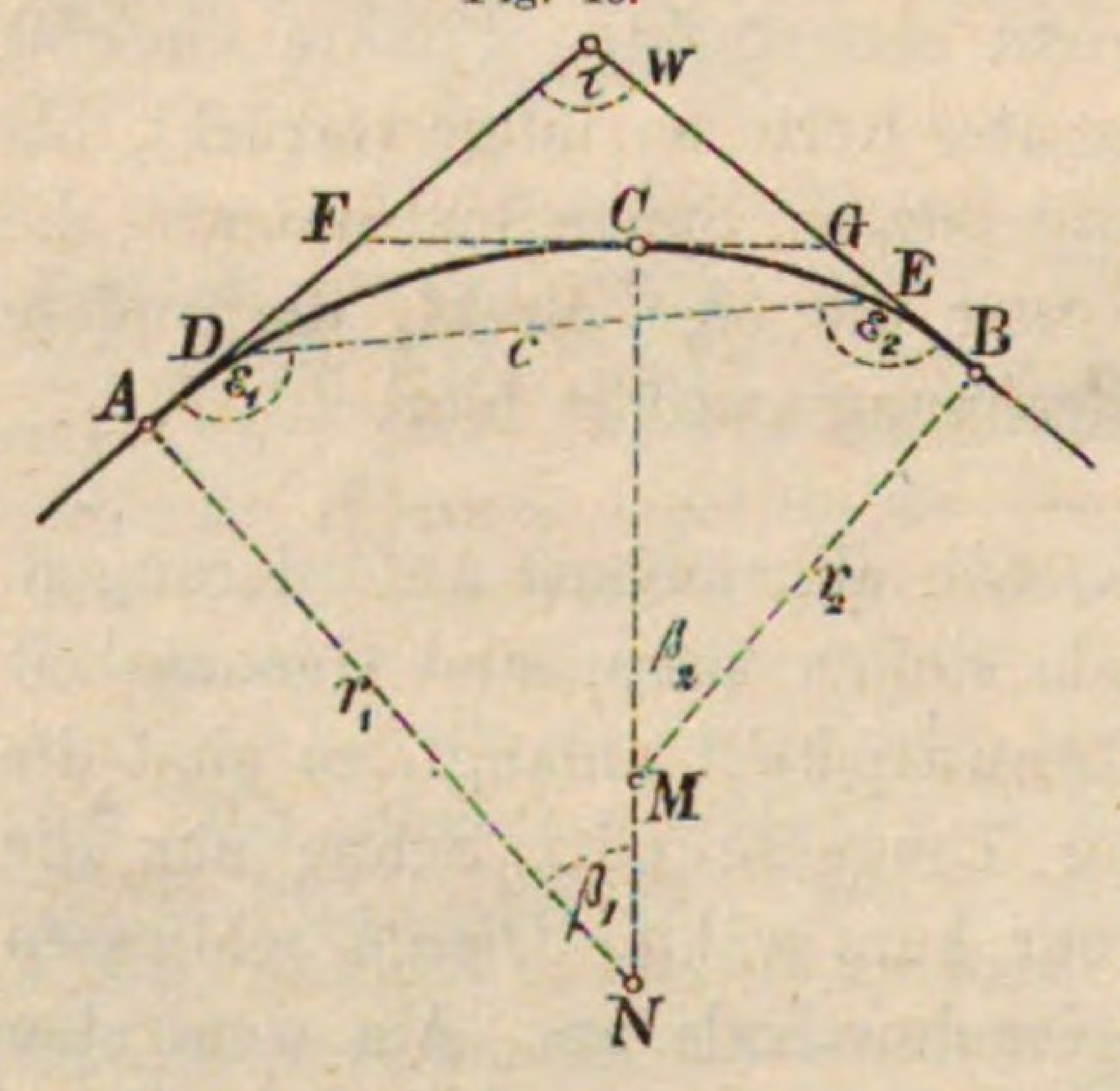
Soll eine möglichst geringe Beschädigung der Saatfelder, Wiesen etc. eintreten, so sind Methoden mit langen Ordinaten nicht anwendbar. Die Sekanten-, Polarkoordinaten- und Spiegelmethode fordern indess sämmtlich nur ein geringes Entfernen der Leute von der Linie.

Ist nur wenig freie Aussicht vorhanden, wie in Wäldern, so ist die Sekantenmethode die geeignetste.

In der Mehrzahl der Fälle wird hiernach entweder die Polarkoordinaten- oder die Sekantenmethode angewendet. Ob die eine oder die andere vorgezogen wird, ist meist Sache der Gewohnheit. Bei nachträglichen Absteckungen der Geleisaxen nach Vollendung des Unterbaues sind wohl die Polarkoordinatenmethode, oder falls ein Spiegelinstrument zur Verfügung steht, die Spiegelmethode, ihrer Genauigkeit und grossen Einfachheit wegen, am meisten zu empfehlen.

§. 16. Doppelkurven. Zuweilen kann der Fall eintreten, dass man zwei Kurven mit verschiedenem Radius an einander schliessen muss.

Fig. 16.



Wir bezeichnen für diesen Fall (Fig. 16) den Tangentenwinkel mit τ, die beiden Centriwinkel mit β_1 und β_2; alsdann ist zunächst

$$18. \quad \beta_1 + \beta_2 = 180^0 - \tau.$$

Der eine dieser Winkel ist aus dem Situationsplane zu entnehmen; der andere ergibt sich alsdann, nachdem τ gemessen ist, durch vorstehende Beziehung. Auch kann man statt dessen $180^0 - \tau$ nach dem aus dem Situationsplane zu entnehmenden Verhältnisse theilen.

Bezeichnen wir nun ferner die beiden Radien mit r_1 und r_2, die beiden Tangenten WA und WB mit t_1 und t_2, so ergibt sich leicht, indem man die Projektionen der geschlossenen Linie $WANMBW$ auf eine Senkrechte zu WB und WA = Null setzt,

$$t_1 \sin \tau - r_1 (\cos \tau + \cos \beta_2) - r_2 (1 - \cos \beta_2) = o,$$
$$t_2 \sin \tau - r_1 (1 - \cos \beta_1) - r_2 (\cos \tau + \cos \beta_1) = o.$$

Wendet man die bekannten Regeln zur Verwandlung der Summe zweier Kosinusse in ein Produkt an, so erhält man

$$18.\quad \begin{cases} t_1 = -2r_1 \dfrac{\cos\frac{1}{2}\beta_1 \cos\frac{1}{2}(\tau - \beta_2)}{\sin\tau} + 2r_2 \dfrac{\sin^2\frac{1}{2}\beta_2}{\sin\tau}, \\[2ex] t_2 = 2r_1 \dfrac{\sin^2\frac{1}{2}\beta_1}{\sin\tau} - 2r_2 \dfrac{\cos\frac{1}{2}\beta_2 \cos\frac{1}{2}(\tau - \beta_1)}{\sin\tau}. \end{cases}$$

Ist W nicht zugänglich, sondern sind zwei andere Punkte D und E der Geraden abgesteckt, so ist, wenn man $DE = c$, $\angle EDA = \varepsilon_1$ und $\angle DEB = \varepsilon_2$ setzt,

$$19.\quad WD = \frac{c \sin\varepsilon_2}{\sin\tau},\quad WE = \frac{c \sin\varepsilon_1}{\sin\tau},$$

wodurch nun nach Berechnung von t_1 und t_2 auch die Abstände DA und EB bestimmt sind. Die Tangenten der beiden Bögen sind

$$20.\quad \begin{cases} AF = CF = r_1 \cos\frac{1}{2}\beta_1, \\ BG = CG = r_2 \cos\frac{1}{2}\beta_2, \end{cases}$$

wonach sich nun auch die Hülfstangente FG und der Uebergangspunkt C abstecken lassen.

Auf die Besprechung des Anschlusses von mehr als zwei Kreisbögen, die ebenfalls nothwendig werden kann, wollen wir hier nicht eingehen.

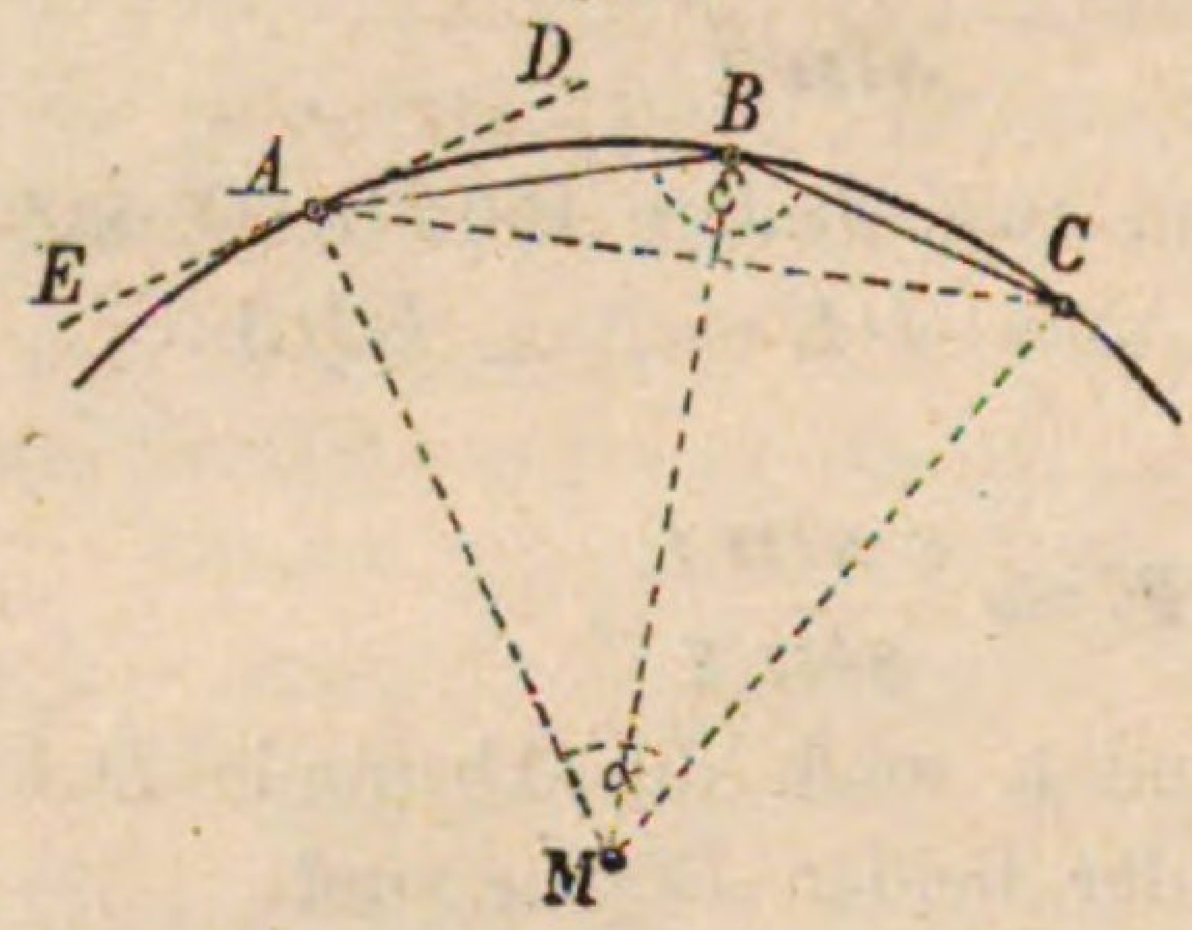
§. 17. Bögen, zwischen denen nur kurze Geraden liegen. In stark gebirgigem Terrain liegen zwischen den einzelnen Bögen oft nur sehr kurze Geraden. Will man die Absteckung der Bögen nach den gezeigten Methoden auf die abzusteckenden Tangenten gründen, so muss man diese Tangenten im Plane so genau als möglich konstruiren, da eine falsche Lage der kurzen Geraden eine grosse Abweichung der abgesteckten Bogenpunkte von der gewünschten Lage zur Folge haben könnte. Man konstruirt hier auf dem Plane zuerst die Bögen und legt an diese nicht durch blosses Anlegen des Lineals, sondern nach einer genauen geometrischen Konstruktion die Tangenten. Kann man auf dem Felde nicht die Haupt- oder Nebenwinkelpunkte abstecken (vergl. §. 7), was allerdings das Beste wäre, so muss man doch die abzusteckenden Punkte der Geraden so weit von einander entfernen, als möglich.

Wenn man die Winkelpunkte nicht abstecken oder die abzusteckenden Punkte der Geraden nicht weit genug von einander entfernen kann, oder wenn sich in Richtung der Tangente nicht sehen oder messen lässt, wie im waldigen Terrain, so ist es zweckmässig, einzelne Punkte des Bogens direkt nach den Schichtenpunkten (d. i. nach den Punkten, mit deren Hülfe die Horizontalschichten konstruirt wurden) einzumessen und auf diese Punkte die weitere Absteckung zu gründen, wie im folgenden §. gezeigt werden soll.

§. 18. Absteckung eines Bogens nach direkt abgesteckten Bogenpunkten.

a. Wenn zwei Punkte A und B (Fig. 17) direkt abgesteckt wurden, so entnimmt man den Radius in rundem Maasse aus dem Plane. Man misst die Länge $AB = l$ und berechnet den Centriwinkel $AMB = \beta$ nach der Formel

Fig. 17.



$$sin\ \tfrac{1}{2}\beta = \frac{l}{2r}.$$

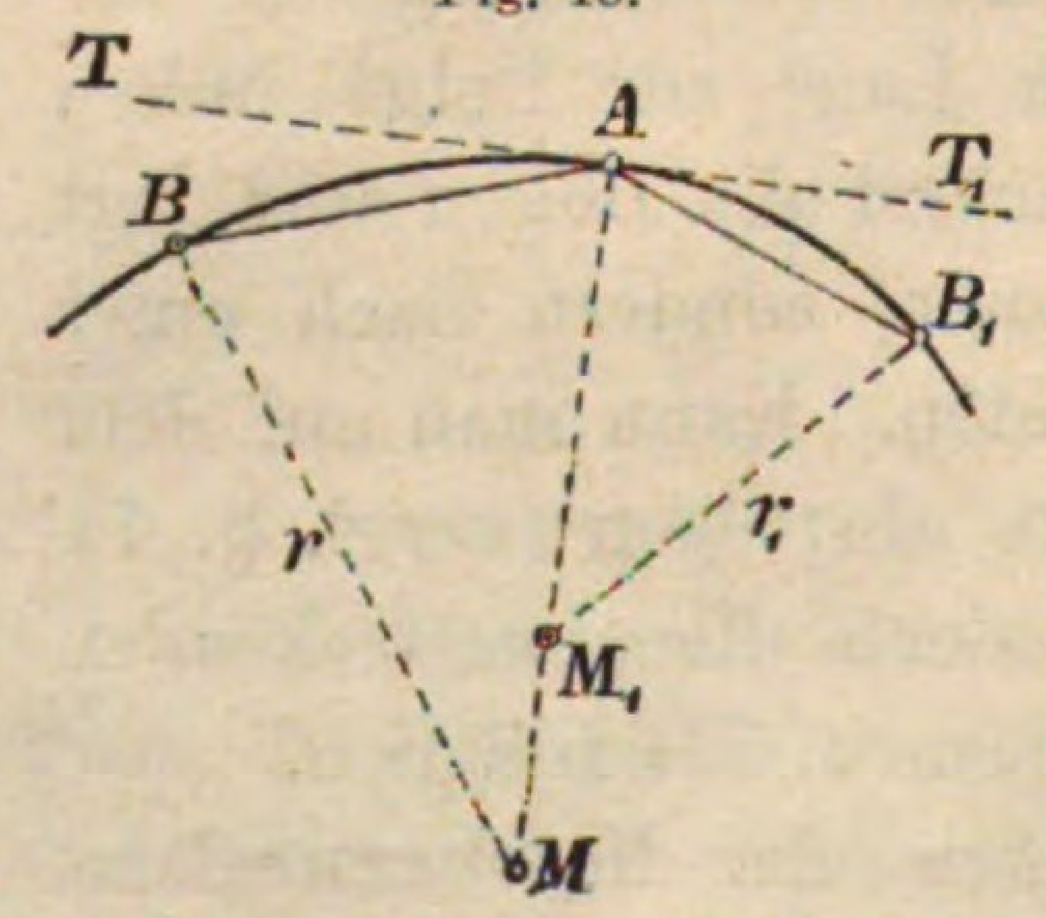
Der Winkel, welchen die Tangente DE mit AB bildet, ist $= \frac{1}{2}\beta$. Hiernach kann nun leicht die Absteckung des Bogens auf beiden Seiten von A und B nach einer der behandelten Methoden vorgenommen werden. Bei bewaldetem Terrain muss unbedingt eine Sehne durchgelichtet werden.

b. Wenn drei Punkte A, B und C (Fig. 17) direkt abgesteckt wurden, so misst man, wenn möglich BA, BC und $\angle ABC$ und berechnet hieraus den Radius r. Ist $\angle ABC = \varepsilon$, so ist $\angle AMC = \alpha = 360 - 2\varepsilon$. Aus AB, BC und $\angle ABC$ berechnet man nun AC in bekannter Weise, und alsdann ist $AC = 2r\ sin\ \frac{1}{2}\alpha = 2r\ sin\ \varepsilon$, also

$$r = \frac{AC}{2\ sin\ \varepsilon}.$$

Die weitere Absteckung kann nun wie im vorigen Falle erfolgen. Wendet man die Spiegelmethode an, so hat man nur nöthig, die Spiegel in B auf den Winkel ABC einzustellen und alsdann die Absteckung des Bogens, wenn dies möglich ist, nach den Punkten A und C vorzunehmen.

Fig. 18.

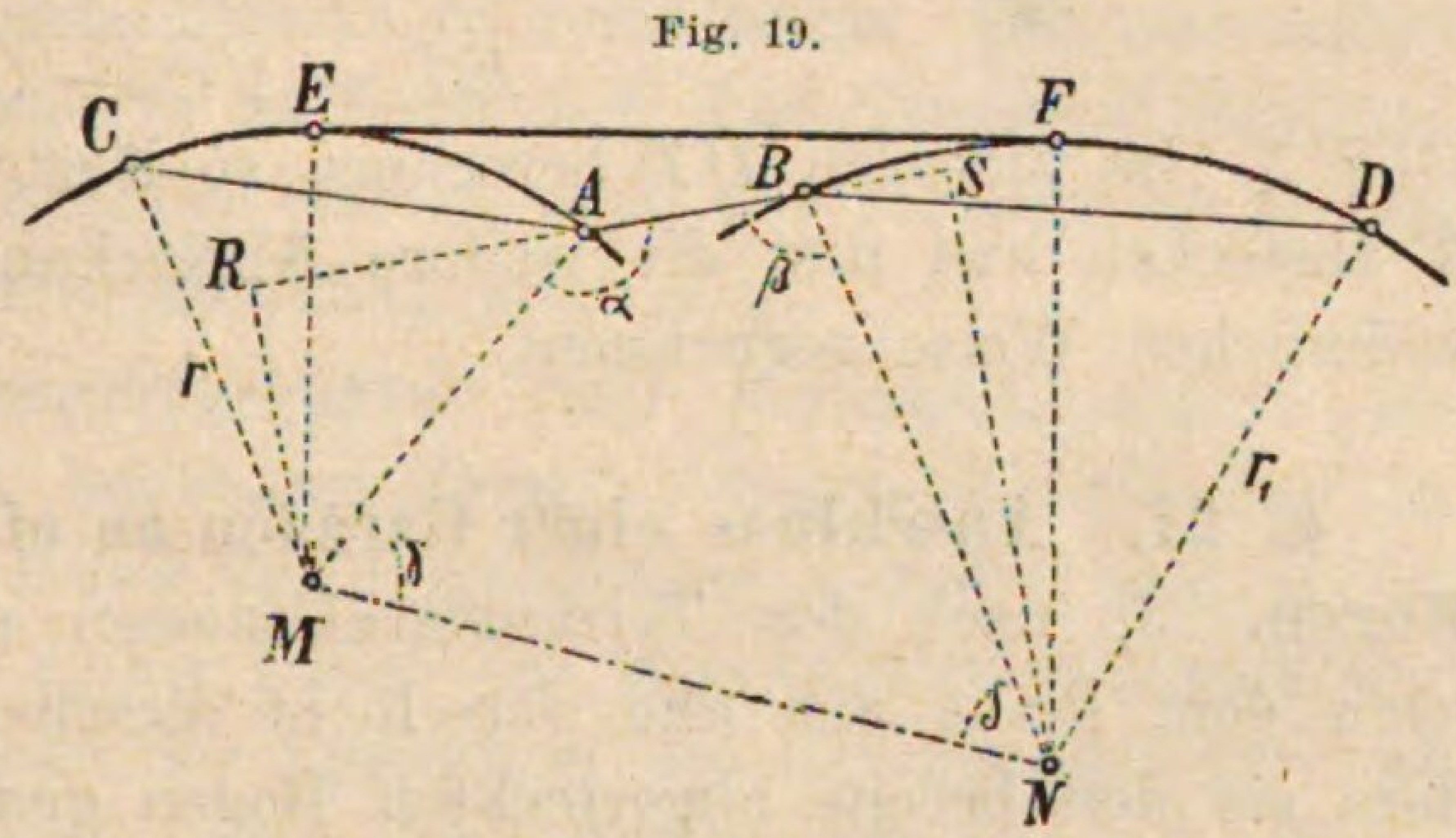


c. Wenn zwei Bögen von verschiedenem Radius an einander schliessen (Fig. 18), so steckt man am besten den Uebergangspunkt A direkt aus. Hat man ausserdem noch zwei andere Punkte B und B_1 direkt ausgesteckt, so muss man einen Radius r aus dem Plane entnehmen; der andere r_1 ist alsdann aber schon dadurch bestimmt, dass beide Bögen in A eine gemeinschaftliche Tangente TT_1 haben müssen. Man misst AA, AB_1 und $\angle BAB_1$; alsdann ist $cos \angle MAB = \frac{AB}{2r}$ und sodann $\angle MAB_1 = \angle BAB_1 - \angle MAB$. Ferner ist $\angle TAB = 90^0 - \angle MAB$ und $\angle T_1AB_1 = 90^0 - \angle M_1AB_1$, wodurch die Lage der Tangente bestimmt ist. Die weitere Absteckung kann nun nach dem Früheren erfolgen. Anstatt r aus dem Plane zu entnehmen, kann man in dem einen Bogen auch ausser A noch zwei Punkte direkt abstecken

und alsdann nach b. verfahren. Lässt sich A nicht direkt abstecken, so steckt man andere Bogenpunkte ab, setzt die Absteckung in dem einen Bogen bis A fort und behandelt sodann den anderen Bogen nach dem eben Gesagten.

§. 19. Einschaltung einer Geraden zwischen zwei Bögen. Wenn zwei Bögen in der angegebenen Weise abgesteckt sind, so muss man zwischen beiden eine Gerade so einschalten, dass dieselbe die Bögen berührt. Hierzu messe man die Entfernung der letzten Bogenpunkte A und B (Fig. 19) und die Winkel CAB und ABD, welche AB mit den beliebigen Sehnen AC und BD bildet. Aus den bekannten Radien und den sich beim Abstecken der Bögen ergebenden Bogenlängen AEC und BFD lassen sich die Winkel CAM und BDN berechnen. Durch diese und die gemessenen Winkel sind auch die Winkel $MAB = \alpha$ und $NBA = \beta$ bestimmt. Wir setzen $AB = a$, $MA = r$, $NB = r_1$ und $MN = c$; von M und N fällen wir auf AB die Senkrechten MR und NS und setzen $m = RS = a - r \cos\alpha - r_1 \cos\beta$, $n = \mp MR + NS = \mp r \sin\alpha + r_1 \sin\beta$, wobei das obere Vorzeichen für Krümmungen in gleichem Sinne und, wenn $r_1 > r$ ist, das untere für Krümmungen in entgegengesetztem Sinne gilt. Es ist alsdann $c = \sqrt{m^2 + n^2}$.

Fig. 19.



Setzt man noch $\angle AMN = \gamma$ und $\angle BNM = \delta$, so ist $\tan \angle RMN = \tan(\alpha + \gamma - 90^0) = \mp \frac{m}{n}$, $\tan \angle SNM = \tan(\beta + \delta - 90^0) = +\frac{m}{n}$, oder

$$\mp \tan(\alpha + \gamma) = + \tan(\beta + \delta) = \frac{n}{m},$$

wodurch γ und δ bestimmt sind; hierbei ist bezüglich $\alpha + \gamma = 180^0 - \beta - \delta$ und $\alpha + \gamma = \beta + \delta$. Setzen wir nun noch die Länge der Tangente $EF = t$ und $\angle EMN = \varepsilon$, so ist

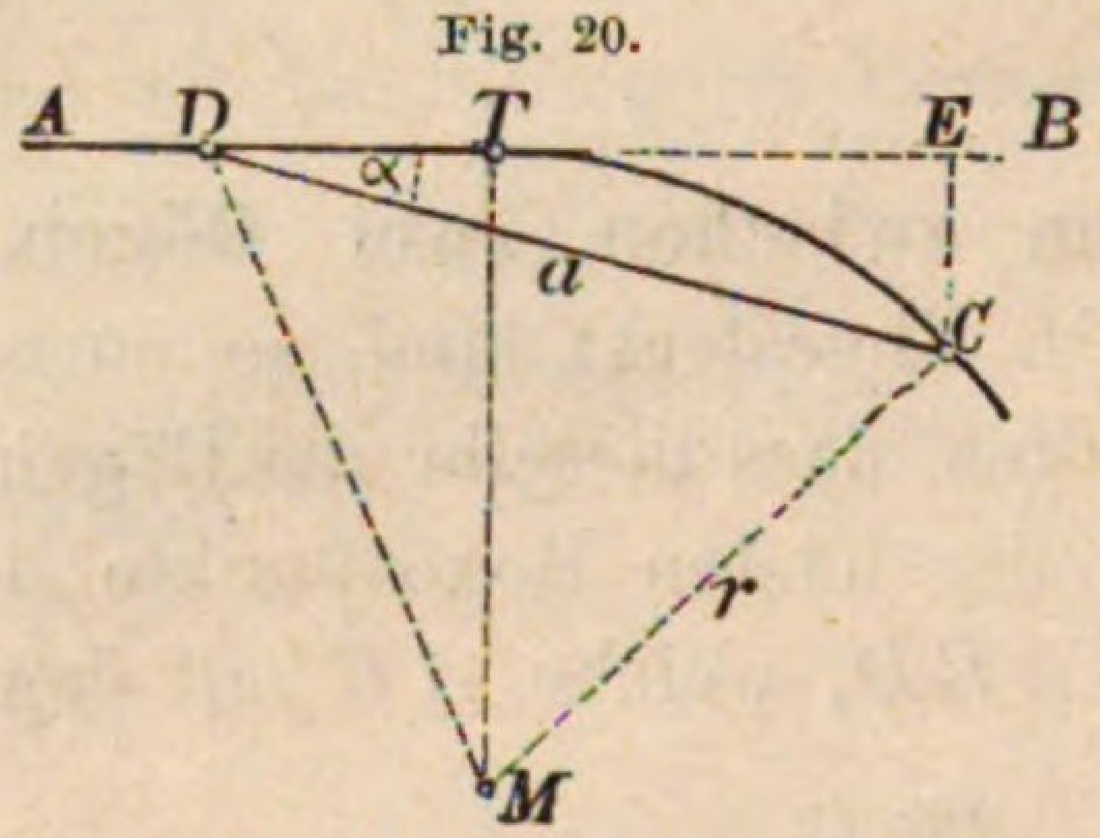
$$t = \sqrt{c^2 - (r \mp r_1)^2} = \sqrt{m^2 + n^2 - (r \mp r_1)^2},$$

$$\tan \varepsilon = \frac{t}{r \mp r_1} \text{ oder } \cos \varepsilon = \frac{r \mp r_1}{c}.$$

Ist hiernach ε berechnet, so wird $\angle AME = \varepsilon - \gamma$, $\angle BNF$ bezüglich $= 180^0 - \varepsilon - \delta$ und $\varepsilon - \delta$, so dass jetzt auch die Bogenlängen AE und BF berechnet und hiernach die Tangentialpunkte E und F abgesteckt werden können.

§. 20. Absteckung eines Bogens, welcher eine gegebene Gerade berührt und durch einen gegebenen Punkt geht. Es kann der Fall eintreten, dass sich an eine bereits abgesteckte Gerade AB (Fig. 20) ein Bogen anschliessen soll, welcher durch einen nach dem Plane direkt abzusteckenden Punkt C geht und einen aus dem Plane zu entnehmenden Radius r hat. In diesem Falle nehme man in AB einen beliebigen Punkt D an und messe $DC = a$ und $\angle BDC = \alpha$. Ist CE senkrecht auf AB, so ist $DE = a \cos \alpha$, $CE = y = a \sin \alpha$, $ET = \sqrt{r^2 - (r - y)^2}$ und $DT = DE - ET$. Ist hiernach DT berechnet, so lässt sich der Berührungspunkt T abstecken und nun die weitere Absteckung des Bogens in der gewöhnlichen Weise vornehmen.

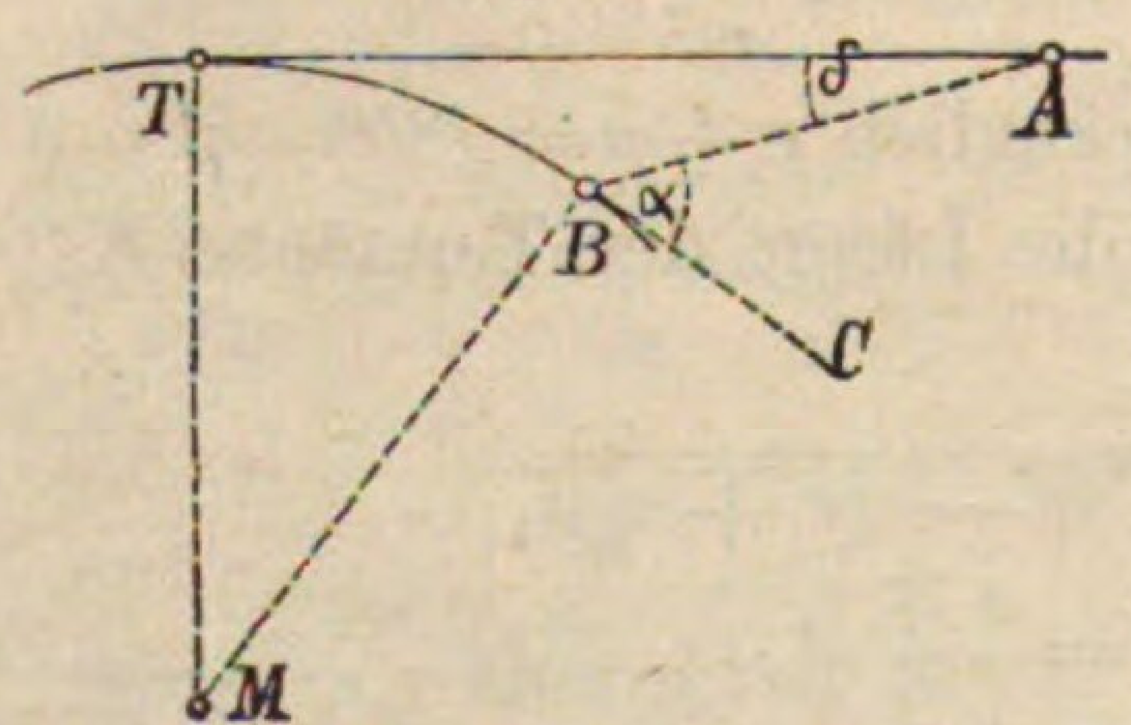
Fig. 20.



§. 21. Anschluss einer Geraden an einen bereits abgesteckten Bogen. Je nach den Terrainverhältnissen steckt man a) die Gerade nach dem Plane aus und verschiebt dieselbe sodann parallel so weit, dass sie den bereits abgesteckten Bogen genau berührt, oder b) man legt die Gerade tangential so an den abgesteckten Bogen, dass sie durch einen gegebenen Punkt geht.

a. Schneidet die nach dem abgesteckten Plane abgesteckte Gerade den abgesteckten Bogen, so halbirt man die Sehne, errichtet auf dieselbe in ihrer Mitte eine Senkrechte und trägt auf derselben die Pfeilhöhe $r - \sqrt{r^2 - \frac{1}{4} s^2}$, wenn s die Sehnenlänge bedeutet, auf. Schneidet die Gerade den Bogen nicht, so legt man zur abgesteckten Geraden eine Parallele, welche den Bogen schneidet und verfährt in gleicher Weise wie vorhin.

Fig. 21.



b. Man stelle in einem dem zu suchenden Berührungspunkte T (Fig. 21) nahe liegenden Bogenpunkte B das Winkelinstrument auf, lege an den Bogen in B in bekannter Weise eine Tangente BC und messe den Winkel $ABC = \alpha$. Alsdann ist $\angle BMT = \angle ABC - \angle BAT = \alpha - \delta$; da nun aber δ sehr klein ist, so ist sehr nahe $\angle BMT = \alpha$. Man berechne nun die diesem Centriwinkel entsprechende Bogenlänge BT und trage sie auf. In dem so gefundenen Bogenpunkte stelle man das Winkelinstrument noch einmal auf und verfahre in gleicher Weise. Der jetzt gefundene Punkt wird

mit hinreichender Genauigkeit als der richtige Berührungspunkt angesehen werden können.

Ist in diesen beiden Fällen der Berührungspunkt nicht zugänglich, so ist ein allerdings etwas umständlicheres Verfahren in Anwendung zu bringen.

B. Bögen mit Uebergangskurven.

§. 22. Uebergangskurven. Wir haben bereits im Abschnitte über „Oberbau" (erstes Heft) von den sogen. Uebergangskurven gesprochen, welche den Zweck haben, einen allmähligen Uebergang aus der geraden in die gekrümmte Strecke zu veranlassen. Die rationellste Anordnung der Uebergangskurve ist nach dem dort Gesagten diejenige, bei welcher der Krümmungsradius von ∞ nach der Hauptkurve zu bis zum Radius r der Hauptkurve allmählig abnimmt.

a. Krümmung der Uebergangskurve. Der Krümmungsradius der Uebergangskurve in einem beliebigen Punkte, dessen Koordinaten in Beziehung auf die Tangente und den Bogenanfang x und y sind, sei ϱ, der Radius der Hauptkurve r, die Länge des Bogens vom Bogenanfang an gerechnet $= s$, die Länge der Projektion der Uebergangskurve auf die Tangente $= l$ und die ganze Länge der Uebergangskurve $= b$. Nach dem beim „Oberbau" Gesagten erscheint es am zweckmässigsten, die Krümmung $\frac{1}{\varrho}$ der Bogenlänge s oder der von s nur sehr wenig abweichenden Abscisse proportional anzunehmen. Wir können sonach

$$\frac{1}{\varrho} = Ax$$

setzen. Für $x = l$ muss s in r übergehen; somit ist $\frac{1}{r} = Al$ oder $A = \frac{1}{rl}$, also

$$21. \quad \frac{1}{\varrho} = \frac{x}{rl}.$$

b. Länge der Uebergangskurve. Von der Länge der Strecken, in welchen die Spurerweiterung und Schienenüberhöhung allmählig überzuführen ist, wurde bereits im Abschnitte über „Oberbau" gesprochen. Die Schienenüberhöhung bedarf hierzu einer grösseren Länge, als die Spurerweiterung. Für die erstere wurde dort $1000\,h$ vorgeschlagen, wenn h die Schienenüberhöhung bedeutet. Für die Uebergangskurven genügt indess eine kleinere Länge, weil ja hier die Ueberhöhung an jeder Stelle dem Krümmungsradius entspricht; es genügt etwa die Länge $l = 500\,h$. Die grösste Ueberhöhung ist nach dem im „Oberbau" Gesagten etwa *0,1 Meter*. Hiernach könnte man die

Länge der Uebergangskurven = 50 Meter

annehmen, wenn man überhaupt diese Länge konstant annehmen will. Zweckmässiger erscheint es indess, diese Länge nicht konstant, sondern variabel mit der Ueberhöhung oder dem Radius anzunehmen, so dass man allgemein

$$22. \quad l = \frac{C}{r} \quad \text{oder} \quad b = \frac{C}{r}$$

setzen kann. Bei grosser Geschwindigkeit kann man C zu *10000 bis 12000* annehmen; bei kleiner Geschwindigkeit kann man C der nothwendigen Ueberhöhung entsprechend kleiner annehmen.

§. 23. Näherungstheorie der Uebergangskurve. 1. Sehr nahe ist bekanntlich für Kurven, welche mit der Abscissenaxe nur einen sehr kleinen Winkel bilden, $\frac{1}{\varrho} = \frac{d^2y}{dx^2}$, daher ist

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{x}{rl}.$$

Die einmalige Integration gibt, da für $x = o$ auch $\frac{dy}{dx} = o$ werden muss,

$$\frac{dy}{dx} = \frac{x^2}{2rl}.$$

Die nochmalige Integration gibt, wenn man beachtet, dass für $x = o$ auch $y = o$ werden muss,

$$23. \quad y = \frac{x^3}{6rl} = \frac{x^3}{6C}.$$

Die Uebergangskurve ist sonach eine kubische Parabel. (Sie ist identisch mit einer elastischen Linie für einen an einem Ende eingespannten, am andern belasteten Stab mit konstantem Querschnitte).

2. Die der Abscisse x entsprechende Bogenlänge $AP = s$ ist bestimmt durch die Beziehung $ds = \sqrt{dx^2 + dy^2} = dx\sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2}$ $= dx\sqrt{1 + \left(\frac{x^2}{2rl}\right)^2} = dx\,[1 + \frac{1}{8}\frac{x^4}{r^2l^2} + \ldots]$; hiernach ist sehr nahe

$$24. \quad s = x\left(1 + \frac{x^4}{40r^2l^2}\right) = x\left(1 + \frac{x^4}{40C^2}\right).$$

Bezeichnen wir die ganze Bogenlänge mit b, so wird also

$$25. \quad b = l\left(1 + \frac{l^2}{40r^2}\right).$$

3. Bezeichnet man den Winkel, welchen die Tangente im beliebigen Punkte P (Fig. 22) mit der Abscissenaxe bildet, mit τ, die Abscisse des Krümmungsmittelpunktes N für den Punkt P mit ξ, so ist offenbar

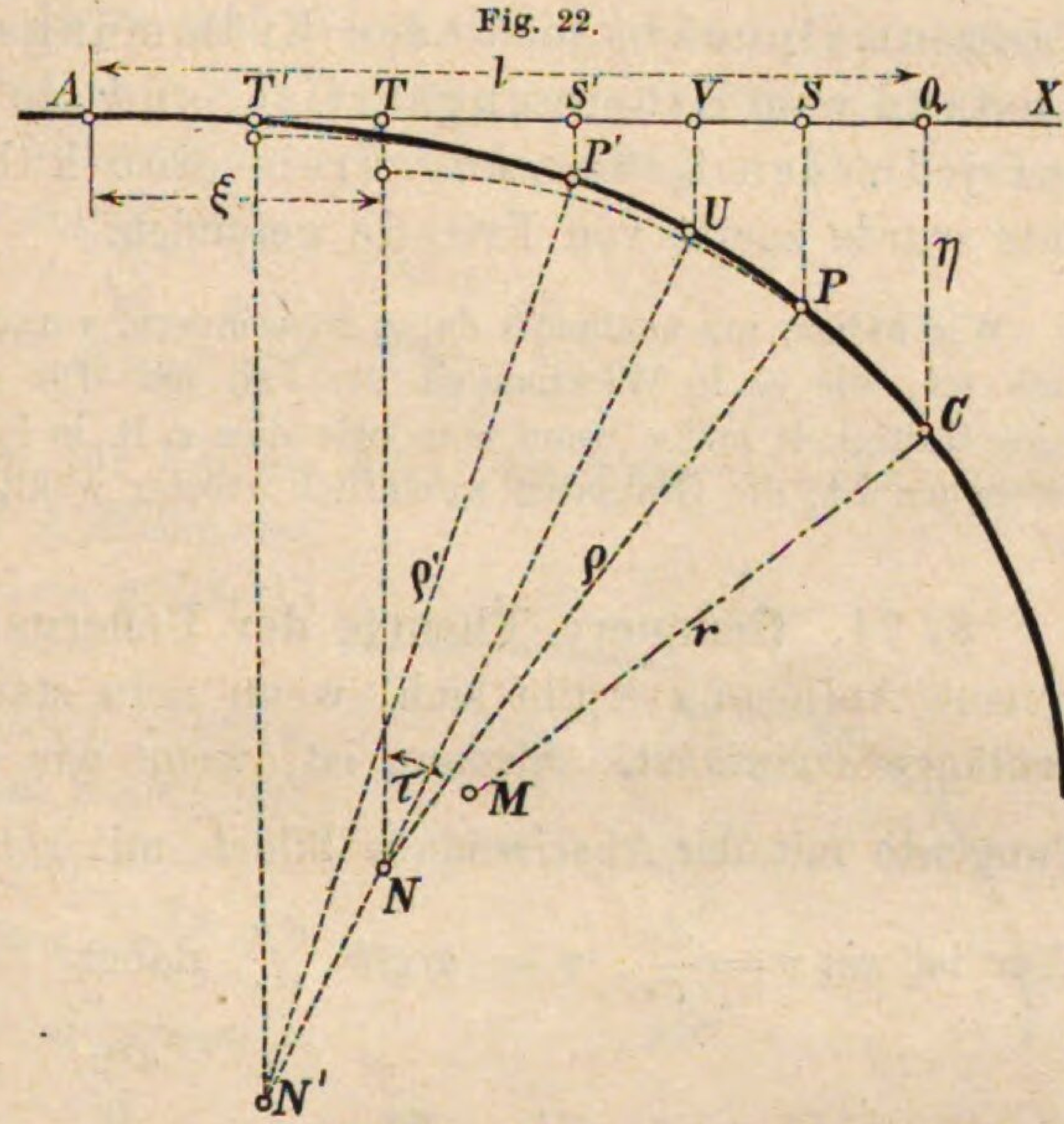
$\xi = x - \rho \sin \tau$ oder der Kleinheit von τ wegen sehr nahe $\xi = x - \rho \tan \tau = x - \rho \frac{dy}{dx}$, d. i. wenn man $\rho = \frac{rl}{x}$, $\frac{dy}{dx} = \frac{x^2}{2rl}$ setzt,

$$26.\quad \xi = \frac{1}{2} x.$$

Eine vom Krümmungsmittelpunkte N eines beliebigen Punktes P auf die Abscissenaxe gefällte Senkrechte NT halbirt also die Abscisse AS des Punktes P.

4. Zwei beliebige Punkte P und P' (Fig. 22) der kubischen Parabel mögen die Abscissen x und x' und die Krümmungsmittelpunkte N und N' haben. Die Abscissen von N und N' sind nach dem aufgestellten Satze $= \frac{1}{2} x$ und $\frac{1}{2} x'$. Sind ρ und ρ' die zu P und P' gehörigen Krümmungsradien und β der Neigungswinkel der Centrale NN' gegen die Ordinatenaxe, so ist demnach sehr nahe $\tan \beta = \frac{x - x'}{2(\rho' - \rho)}$ Nun aber ist $\rho : \rho' = x' : x$ also $\rho : \rho' - \rho = x' : x - x'$, mithin $\tan \beta = \frac{x'}{2\rho}$. Demnach wird die Abscisse AV des Punktes U, in welchem die verlängerte Centrale die Kurve schneidet, $= \frac{1}{2} x + \rho \tan \beta$, d. i. $AV = \frac{1}{2}(x + x')$, es liegt also V in der Mitte von SS' und U in der Mitte von PP', oder:

Fig. 22.



Die Grade, welche sich durch die Krümmungsmittelpunkte N, N' für zwei beliebige Punkte P, P' legen lässt, halbirt den Bogen PP'.

5. Die eben eingeführten Bezeichnungen beibehaltend ist $\frac{1}{\rho} = \frac{x}{rl}$, $\frac{1}{\rho'} = \frac{x'}{rl}$, also $\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho'} = \frac{x - x'}{rl}$, oder, wenn wir $SS' = x - x'$ mit x_1 bezeichnen, $\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho'} = \frac{x_1}{rl}$. Denkt man sich den Puukt P als fest, den Punkt P' als variabel und bezeichnet die Ordinaten der Uebergangskurve und des durch P gelegten Krümmungskreises für den Punkt P' mit y' und y'', so ist $\frac{1}{\rho'} = \frac{d^2 y'}{dx_1^2}$, $\frac{1}{\rho} = \frac{d^2 y''}{dx_1^2}$, also $\frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho'} = \frac{d^2 (y'' - y')}{dx_1^2}$,

oder, wenn man den Abstand der kubischen Parabel vom Krümmungskreise für den Punkt P in Punkt P' mit y_1 bezeichnet, $\frac{1}{\varrho} - \frac{1}{\varrho'} = \frac{dx_1^2}{d^2 y_1}$; also ist $\frac{d^2 y_1}{d x_1^2} = \frac{x_1}{rl}$. Die Integration gibt, da für $x_1 = o$ auch $\frac{dy_1}{dx_1} = o$ werden muss, $\frac{dy_1}{dx_1} = \frac{x_1^2}{2rl}$. Die nochmalige Integration gibt, da für $x_1 = o$ auch $y_1 = o$ werden muss,

$$27.\quad \boldsymbol{y_1 = \frac{x_1^3}{6rl}}.$$

Sonach hat die kubische Parabel in gleicher Entfernung vom Tangentialpunkte jedweden Krümmungskreises auch gleichen Abstand vom Krümmungskreise, und sie ist auch in Beziehung auf jedweden Krümmungskreis eine kubische Parabel. Dieser Satz wurde zuerst von Froude gefunden.

Wir haben, um nochmals daran zu erinnern, vorausgesetzt, dass die Kurve sehr flach sei, wie es in Wirklichkeit der Fall ist. Die gefundenen Sätze haben also keine Gültigkeit mehr, wenn man, wie dies z. B. in Fig. 22 der Deutlichkeit wegen geschehen ist, die Ordinaten wesentlich grösser wählt.

§. 24. Genauere Theorie der Uebergangskurve. Eine einfache genaue Auflösung ergibt sich, wenn man statt der Abscisse x die Bogenlänge s einführt. Alsdann ist, wenn wir den Winkel, welchen die Tangente mit der Abscissenaxe bildet, mit τ bezeichnen, $\frac{1}{\varrho} = \frac{d\tau}{ds}$. Nun aber ist $\sin \tau = \frac{dy}{ds}$, $\tau = \arcsin \frac{dy}{ds}$, daher

$$\frac{1}{\varrho} = \frac{d\tau}{ds} = \frac{\frac{d^2 y}{d^2}}{\sqrt{1 - \left(\frac{dy}{ds}\right)^2}}.$$

Wir setzen nun dem Obigen analog $y = Cs^3$. Wenn hierbei die Krümmung auch nicht genau proportional dem s zunimmt, so nimmt sie doch stetig und fast genau proportional dem s zu, und mehr ist nicht nöthig. Daher wird $\frac{dy}{ds} = 3Cs^2$, $\frac{d^2 y}{ds^2} = 6Cs$, mithin, wenn wir Bogen $BPD = b$ setzen, $r = \frac{\sqrt{1 - 9C^2 b^4}}{6Cb}$, und hieraus $C = \frac{1}{3b\sqrt{b^2 + 4r^2}}$; also wird jetzt vollkommen genau

$$28.\quad \boldsymbol{y = \frac{s^3}{3b\sqrt{b^2 + 4r^2}}}.$$

Annähernd wird $C = \frac{1}{6br}\left(1 - \frac{1}{8}\frac{b^2}{r^2}\right)$ und

$$29. \quad y = \frac{s^3}{6br}\left(1 - \frac{1}{8}\frac{b^2}{r^2}\right).$$

Die Ordinate $CQ = \eta$ des Endpunktes C der Uebergangskurve (Fig. 23) ist genau

$$30. \quad \eta = \frac{b^2}{3\sqrt{b^2 + 4r^2}}$$

und annähernd

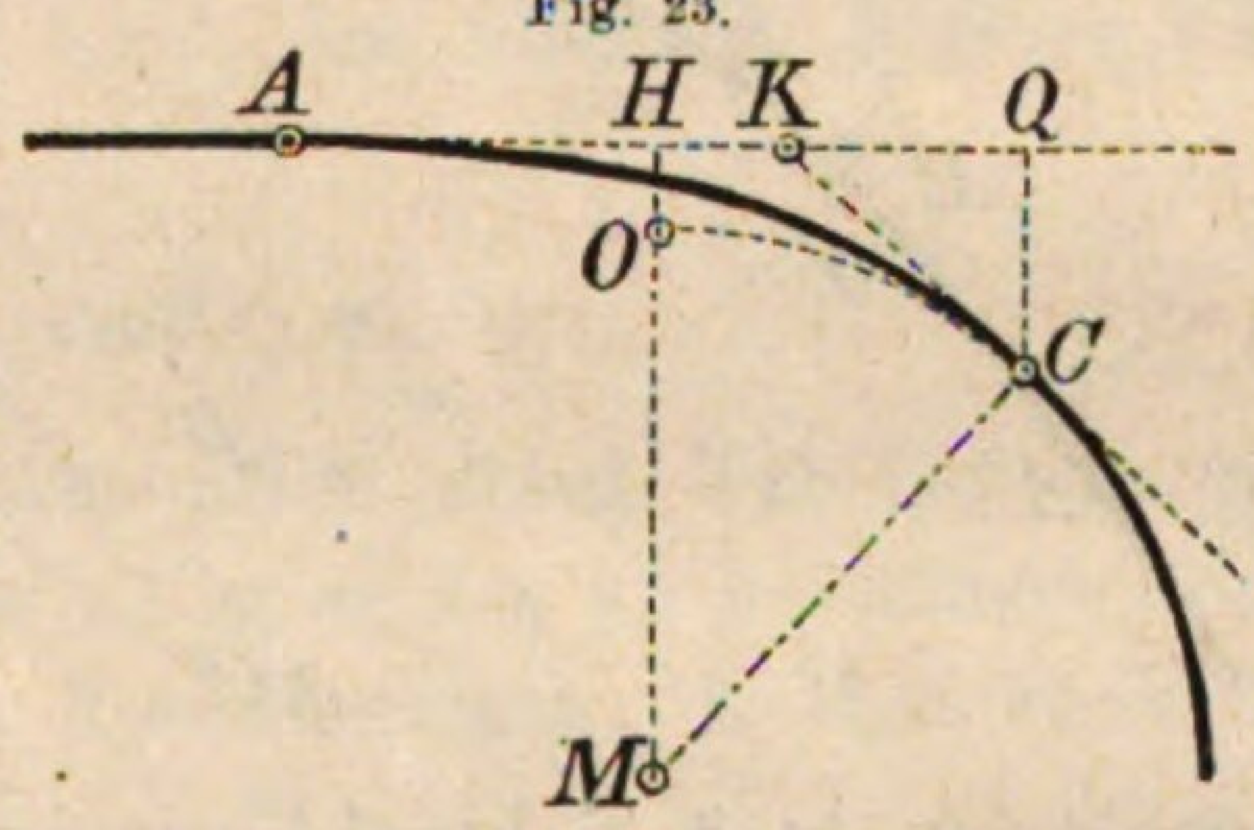
$$31. \quad \eta = \frac{b^2}{6r}\left(1 - \frac{1}{8}\frac{b^2}{r^2}\right).$$

Die Näherungsregeln 29 und 31 geben Werthe, welche selbst bei den kleinsten Radien von *200 Meter* und bei einer Länge der Uebergangskurve von *50 Meter* mit den genauen Werthen bis auf Millimeter übereinstimmen, so dass diese Näherungsregeln stets genügen. Für Radien über *500 Meter* genügt es sogar stets,

$$32. \quad y = \frac{s^3}{6br}, \quad 33. \quad \eta = \frac{b^2}{6r}$$

zu setzen, da diese Regeln für Radien über *500 Meter* Werthe geben welche mindestens bis auf *1 Millimeter* genau sind, was für die Praxis mehr als genügend ist.

Fig. 23.



Bezeichnen wir den Winkel, welchen die Tangente CK (Fig. 23) am Ende C der Uebergangskurve mit der Abscissenaxe AQ bildet, mit ε, so ist $\sin\varepsilon = \frac{dy}{ds}$ für $s = b$, d. i. nach der Näherungsregel

$$34. \quad \sin\varepsilon = \frac{b}{2r}\left(1 - \frac{1}{8}\frac{b^2}{r^2}\right) = 3\frac{\eta}{b}.$$

Setzen wir annähernd $CQ = \eta = \frac{b^2}{6r}$, $\tan\varepsilon = \frac{b}{2r}$, so wird $QK = \eta \cot\varepsilon$ $= \frac{b^2}{6r}\cdot\frac{2r}{b} = \frac{1}{3}b$, oder sehr nahe $QK = \frac{1}{3}AQ$.

Die der Bogenlänge s entsprechende Abscisse x ergibt sich leicht wie folgt. Es ist $dx = ds\cos\tau = ds\sqrt{1 - \sin^2\tau} = ds\sqrt{1 - \left(\frac{dy}{ds}\right)^2}$, d. i. mit hinreichender Genauigkeit $dx = ds\left[1 - \frac{1}{2}\left(\frac{dy}{ds}\right)^2\right] = ds\left(1 - \frac{s^4}{4b^2r}\right)$. Die Integration gibt

$$35. \quad x = s\left(1 - \frac{s^4}{20b^2r^2}\right).$$

Die Abscisse $AQ = \xi$ des Endpunktes C ist hiernach

$$36. \quad \xi = b\left(1 - \frac{b^2}{20 r^2}\right).$$

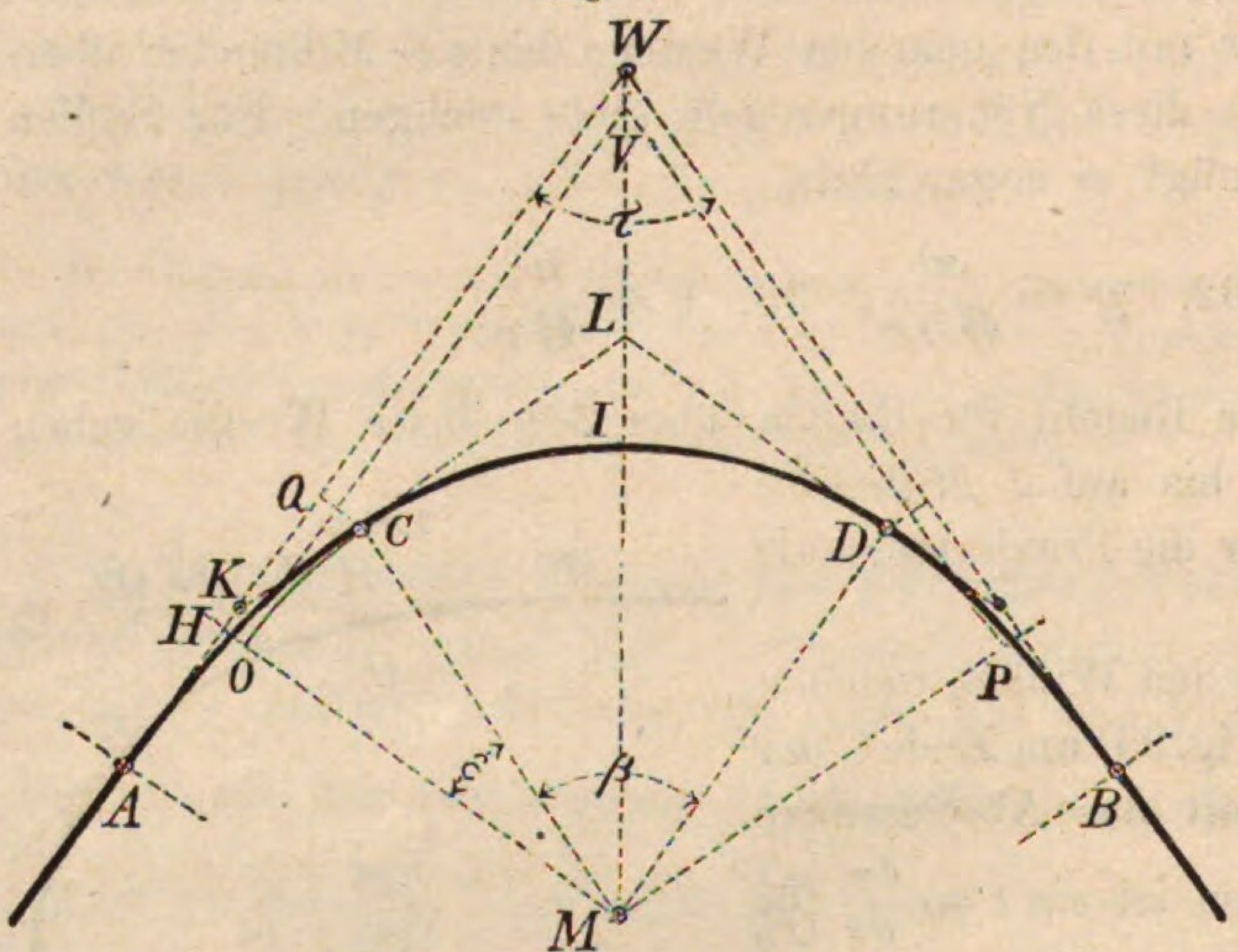
Für Radien über *500 Meter* und bis zu einer Länge der Uebergangskurve von *50 Meter* kann man stets

$$37. \quad x = s$$

setzen, da sich alsdann der relative Fehler stets kleiner als $\frac{1}{2000}$ ergibt.

§. 25. Absteckung der Bögen durch Uebergangskurven. Für die Absteckung des Bogens erscheint es am rathsamsten, sich die Hauptkurve bis zum Durchschnitte *O* und *P* mit den auf den Tangenten *AW* und *BW* (Fig. 24) senkrechten Radien fortgesetzt zu denken. Man steckt alsdann zunächst *O* und *P* durch die Koordinaten $AH = x_0$ und $HO = y_0$ ab und kann alsdann die Hauptkurve, indem man sich die Tangenten *AW* und *BW* parallel durch die Punkte *O* und *P* verschoben denkt, nach den in §. 6 bis 14 gezeigten Methoden abstecken.

Fig. 24.



Es ergeben sich nun für die Koordinaten x_0 und y_0 folgende Ausdrücke:

$$38. \quad \begin{cases} x_0 = \xi - r \sin \varepsilon, \\ y_0 = \eta - r\,(1 - \cos \varepsilon). \end{cases}$$

Da die Ausdrücke für ξ, η und ε bereits im vorigen §. aufgestellt wurden, so ist hiernach die Berechnung von x_0 und y_0 möglich; es lassen sich indess hinreichende Näherungsregeln aufstellen. Substituiren wir zunächst für ξ und $\sin \varepsilon$ die Ausdrücke 36 und 34, so ergibt sich

$$39. \quad x_0 = \frac{1}{2} b \left(1 + \frac{b^2}{40 r^2}\right).$$

Hiernach liegt also der Punkt *H* nahezu in der Mitte der Strecke *AQ*; ja für Radien, welche grösser als etwa *350 Meter* sind, genügt es,

$$40. \quad x_0 = \frac{1}{2} b$$

zu setzen, da alsdann der Fehler $< \frac{1}{2000}$ ist. Setzt man ferner für η

den Ausdruck 31 und $1 - \cos\varepsilon = 1 - \sqrt{1 - \sin^2\varepsilon} = \frac{1}{2}\sin^2\varepsilon$ und für $\sin\varepsilon$ den Ausdruck 34, so ergibt sich

$$41. \quad \boldsymbol{y_0 = \frac{b^2}{24r}\left(1 + \frac{1}{4}\frac{b^2}{r^2}\right)}$$

$$\boldsymbol{= \frac{1}{4}\eta\left(1 + \frac{3}{8}\frac{b^2}{r^2}\right).}$$

Für Radien über *500 Meter* genügt es,

$$42. \quad \boldsymbol{y_0 = \frac{1}{4}\eta}$$

zu setzen, da alsdann der Fehler < 1 *Millimeter* wird. Die Ordinate y_0 wird nie sehr gross; für $b = 50^m$ wird sehr nahe $y_0 = \frac{104,2}{r}$; für $r = 200, 400, 600, 800, 1000$ *Meter* wird also bezüglich $y_0 = 0,52, 0,26, 0,17, 0,13, 0,10$ *Meter*. Die Ordinate der Uebergangskurve für $x = \frac{1}{2}b$ wird sehr nahe $= \frac{b^2}{48r} = \frac{1}{2}y_0$, so dass die Uebergangskurve die Ordinate OH halbirt. Es folgt dies auch ohne Weiteres aus dem in §. 23 aufgestellten Froude'schen Satze.

Zur Absteckung wird ferner noch die Länge $WH = t_0$ nöthig. Die Länge VO ist gleich der Tangente t für den Bogen ohne Uebergangskurve, welche nach §. 6 zu bestimmen ist. Nun aber ist $WH = VO + OH \cdot \cot\frac{1}{2}\tau$ oder

$$43. \quad \boldsymbol{t_0 = t + y_0 \cot\frac{1}{2}\tau.}$$

Tabellen. Es ist rathsam, das Abstecken durch Tabellen zu erleichtern. Tabellen würden zunächst für x_0, y_0 und η zu berechnen sein. Diese Tabellen lassen sich in doppelter Form anlegen: 1. Man stellt in der Tabelle nur die Verhältnisse $\frac{x_0}{b}$, $\frac{y_0}{b}$ und $\frac{\eta}{b}$ für verschiedene Werthe von $\frac{b}{r}$ zusammen, so dass bei Anwendung die Division von r in b und die Multiplication der Zahlen der Tabelle mit b nöthig wird. Für $\frac{b}{r}$ würden hierbei etwa die Zahlen *0,0001 0,0002 0,0003 0,3000* anzunehmen sein. In dieser Form sind die Tabellen einer allgemeinen Anwendung fähig. 2. Bequemer werden die Tabellen allerdings, wenn man sie für bestimmte Werthe von r und für bestimmte Werthe von b berechnet. Sehr einfach werden die Tabellen, wenn man b nach Formel 22 mit dem Radius variabel annimmt.

Zur Bestimmung des Gliedes $y_0 \cot\frac{1}{2}\tau$ im Ausdrucke für t_0 können dieselben Tabellen verwendet werden, welche zur Bestimmung von t dienen, da $t = r\cot\frac{1}{2}\tau$ ist.

Endlich sind noch Tabellen für x und y für ein variabeles s nach Formel 35 und 32 zu berechnen. Für s sind hierbei etwa die Werthe

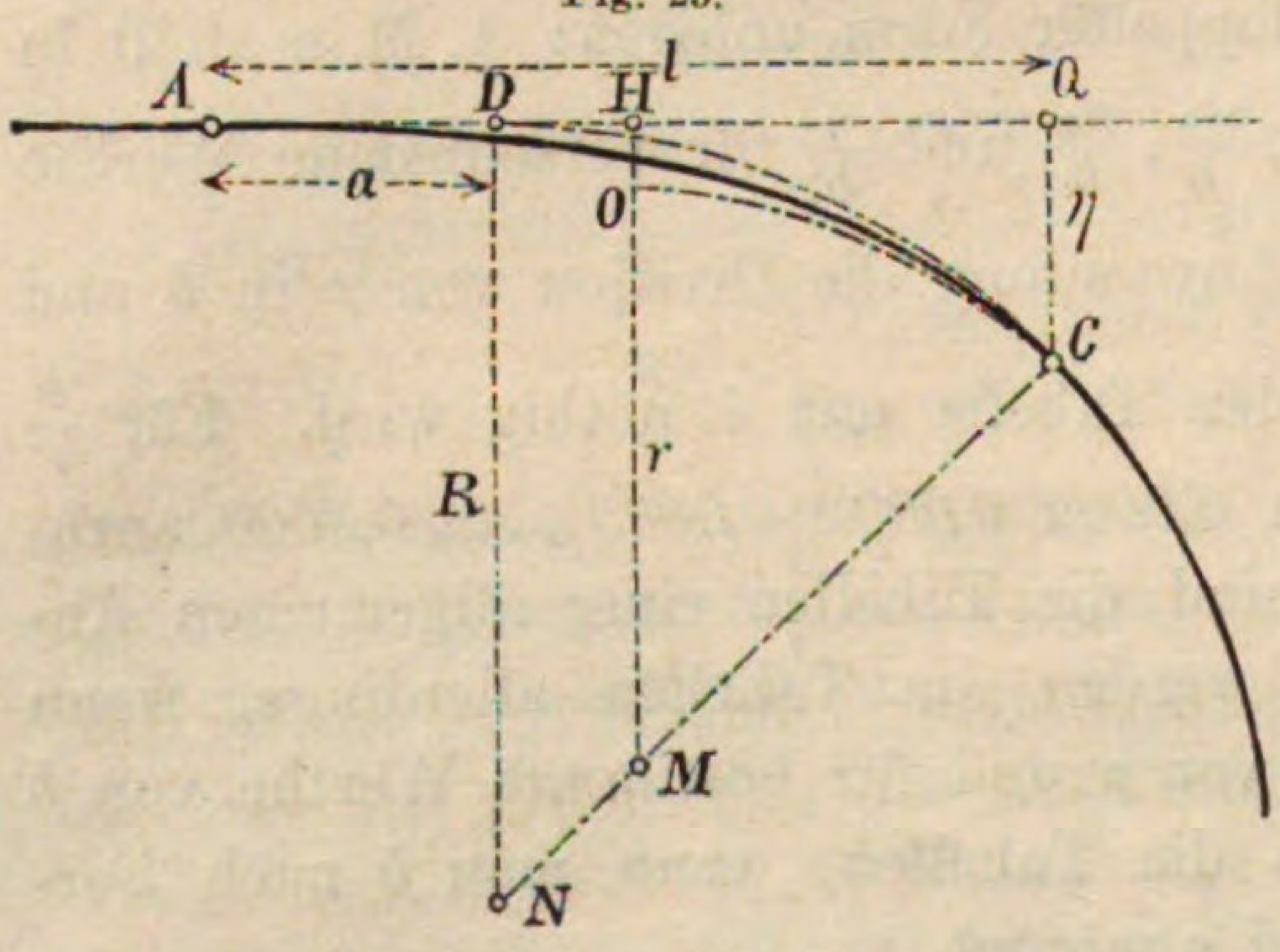
1, 1,1 1,2 1,3 ... 50 Meter anzunehmen. Nimmt man das b nach Formel 22 umgekehrt proportional dem Radius an, so genügt eine einzige Tabelle, da alsdann einem bestimmten Werthe von s bei allen möglichen Radien auch ein bestimmter Werth von x und y entspricht.

Das Hilfsbuch von Knoll enthält eine Tabelle für die Konstante $C = 12000$; das von Sarrazin und Oberbeck enthält Tabellen für Hauptbahnen (grosse Geschwindigkeit) mit der Konstante $C = 12000$ und für Nebenbahnen (kleine Geschwindigkeit) mit der konstanten Bogenlänge $b = 20$ *Meter* ($C = 20r$). Das Hülfsbuch von Winckel enthält Tabellen für Bahnen, deren Radien $\geqq 300^m$ sind, mit der Konstante $C = 12000$, für Bahnen, deren Radien $\geqq 400^m$ sind, mit der Konstante $C = 18000$ und für Bahnen, deren Radien $\geqq 500^m$ sind, mit der Konstante $C = 25000$.

§. 26. Nachträgliche Einschaltung von Uebergangskurven. Früher wurden Eisenbahnen ohne Uebergangskurven erbaut. Der grosse Nutzen dieser Kurven hat indess mehrfach Anlass gegeben, bei bestehenden Bahnen nachträglich Uebergangskurven einzuschalten. Wir wollen daher im Folgenden noch untersuchen, wie dies möglich ist.

1. Am einfachsten wird die Lösung, wenn man die ganze Kurve um die Grösse $OH = y_0$ (Fig. 24) nach innen verschiebt, wodurch auch der Radius um OH vermindert wird. Die Uebergangskurve lässt sich alsdann nach dem oben Gesagten einschalten. Bei kurzen Bögen ist dies wohl auch das beste Verfahren. Allein bei langen Bögen wird man sich wohl schwer dazu entschliessen, den Oberbau im ganzen Bogen zu verschieben.

Fig. 25.



2. Will man die Uebergangskurve in einem Punkte C (Fig. 25) des bestehenden Bogens anschliessen, so ist dies offenbar nur möglich, wenn die Krümmungsradien der Uebergangskurve zum Theil kleiner sind, als der Radius R des bestehenden Bogens. Von Nördling wurde zuerst eine kubische Parabel angewendet, deren kleinster Krümmungsradius $MC = r$ in C kleiner ist, als R. Fällen wir vom gegebenen Mittelpunkte N und vom Krümmungsmittelpunkte M Senkrechte ND und MH auf die Tangente und setzen die Länge AQ der Uebergangskurve, in der Tangente gemessen, wieder $= l$ und $CQ = \eta$, so ist nach Formel 31 sehr nahe $\eta = \frac{l^2}{6r}$. Setzen wir ferner $AD = a$, so ist $(l - a)^2 = \eta\,(2R - \eta)$ oder hinreichend

genau $(l-a)^2 = 2R\eta$ oder $\eta = \frac{(l-a)^2}{2R}$; folglich ist $\frac{l^2}{6r} = \frac{(l-a)^2}{2R}$ oder

$$Rl^2 = 3r\,(l-a)^2.$$

Ferner ist $QH = \frac{r}{R}\,QD = \frac{r}{R}\,(l-a)$. Da aber nach dem Früheren sehr nahe $QH = AH = \frac{1}{2}l$ ist, so wird $\frac{1}{2}l = \frac{r}{R}\,(l-a)$ oder

$$Rl = 2r\,(l-a).$$

Die Division beider Gleichungen gibt $l = \frac{2}{3}\,(l-a)$ oder

$$44. \quad \boldsymbol{a = \frac{1}{3}\,l.}$$

Dies in die vorige Gleichung eingesetzt gibt

$$45. \quad \boldsymbol{r = \frac{3}{4}\,R.}$$

Die weitere Behandlung kann unmittelbar nach dem Früheren erfolgen.

Der Abstand y' der Uebergangskurve vom gegebenen Bogen im Abstande x von A ist $y' = \frac{x^3}{6rl} - \frac{(x-a)^2}{2R}$, d. i. wenn man $r = \frac{3}{4}\,R$, $a = \frac{1}{3}\,l$ setzt,

$$y' = \frac{1}{9R}\left[\frac{2x^3}{l} - \frac{(3x-l)^2}{2}\right].$$

Setzt man den Differenzialquotienten von y' nach x = Null, so ergibt sich, dass y' zum Maximum wird für $x = \frac{1}{2}l$. Die entsprechende grösste Verschiebung des Bogens ist

$$46. \quad \boldsymbol{max\; y' = \frac{l^2}{72R}.}$$

Für $l = 50^m$, $R = 200, 400, 600, 800^m$ ergibt sich hiernach bezüglich $max\; y' = 0{,}174^m\; 0{,}087^m\; 0{,}058^m\; 0{,}043^m$, so dass die Verschiebung nie sehr bedeutend und meist ohne Verbreiterung des Unterbaues ausführbar ist.

Diese Methode leidet indess an dem Mangel, dass sich bei kleinem R der Radius r für den Betrieb zu klein ergeben kann und dass man die Ueberhöhung in der Uebergangskurve, um am Anschlusse keinen Absatz zu erhalten, kleiner halten muss, als es dem Radius entspricht.

3. Ein Mittel, diese Uebelstände wenigstens zum Theil zu beseitigen, hat man darin gefunden, dass man an die gegebenen Bogen vom Radius R zunächst einen Kreisbogen BC (Fig. 26) mit kleinerem Radius r und an diesen erst eine kubische Parabel CA, deren kleinster Krümmungsradius $= r$ ist, anschliesst.

Setzen wir $AQ = l$, $AD = a$, $PQ = c$ und $\angle BND = \angle BMH = \alpha$, so wird $R \sin\alpha = l - a + c$, $r \sin\alpha = \frac{1}{2} l + c$, also $(R - r) \sin\alpha = \frac{1}{2} l - a$. Ferner wird, wenn wir noch $BP = \eta_1$, $OH = y_0$ setzen,

$$R(1 - \cos\alpha) = \eta_1,$$

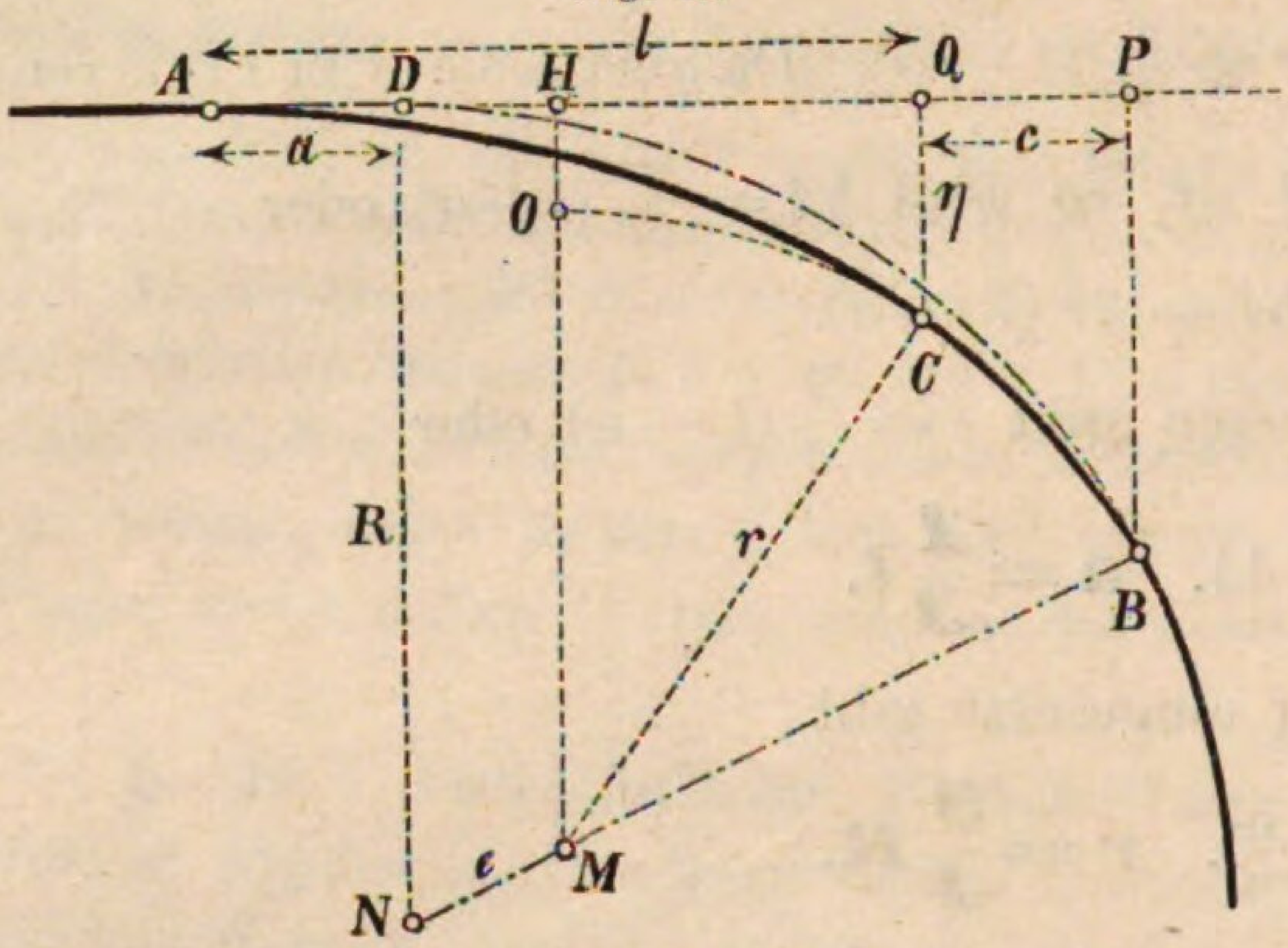
$$r(1 - \cos\alpha) = \eta_1 - y_0,$$

also $(R - r)(1 - \cos\alpha) = y_0 = \frac{l^2}{24r}$. Wir haben sonach, wenn wir noch $MN = R - r = e$ setzen,

$$\sin\alpha = \frac{l - 2a}{2e},$$

$$\cos\alpha = 1 - \frac{l^2}{24re}.$$

Fig. 26.



Setzen wir zum Zwecke der Elimination von α $\sin^2\alpha + \cos^2\alpha = 1$, so ergibt sich durch Reduktion der so erhaltenen Gleichung auf a:

$$47. \quad \frac{a}{l} = \frac{1}{2} - \frac{1}{24}\sqrt{48\frac{e}{r} - \frac{l^2}{r^2}}.$$

Das zweite Glied der Wurzel ist gegen das erste klein, so dass annähernd

$$47\text{a}. \quad \frac{a}{l} = \frac{1}{2} - \frac{1}{6}\sqrt{\frac{3e}{r}}$$

wird. Setzen wir beispielsweise $e = 0{,}05\, r$, $0{,}1\, r$, $0{,}2\, r$, so ergibt sich bezüglich $a = 0{,}435\, l$, $0{,}469\, l$, $0{,}371\, l$.

Der Winkel α ist nun bestimmt durch die Gleichung

$$48. \quad \sin\alpha = \frac{l - 2a}{2e} = \frac{l}{24e}\sqrt{48\frac{e}{r} - \frac{l^2}{r^2}}.$$

d. i. annähernd

$$48\text{a}. \quad \sin\alpha = \frac{l\sqrt{3}}{6\sqrt{re}}.$$

Die in der Tangente gemessene Länge PQ des eingeschalteten Kreisbogens wird $c = r \sin\alpha - \frac{1}{2} l$, d. i.

$$49. \quad \frac{c}{l} = \frac{1}{24e}\sqrt{48r - l^2} - \frac{1}{2},$$

oder annähernd

$$49\text{a}. \quad \frac{c}{l} = \frac{1}{6}\sqrt{\frac{3r}{e}} - \frac{1}{2}.$$

Hiernach ergibt sich beispielsweise für $e = 0{,}05\,r,\ 0{,}1\,r\ 0{,}2\,r$ bezüglich $c = 0{,}791\,l,\ 0{,}413\,l,\ 0{,}146\,l$. Je kleiner man e wählt, desto länger wird demnach das einzuschaltende Kreisbogenstück.

Die Ordinaten der Punkte C und O werden $\eta = \frac{l^2}{6r}$, $y_0 = \frac{l^2}{24r} = \frac{1}{4}\eta$.
Die Ordinate des Punktes B wird annähernd $\eta_1 = \frac{DP^2}{2R} = \frac{(l + c - a)^2}{2R}$,
d. i. nach Einsetzung der Näherungswerthe für c und a:

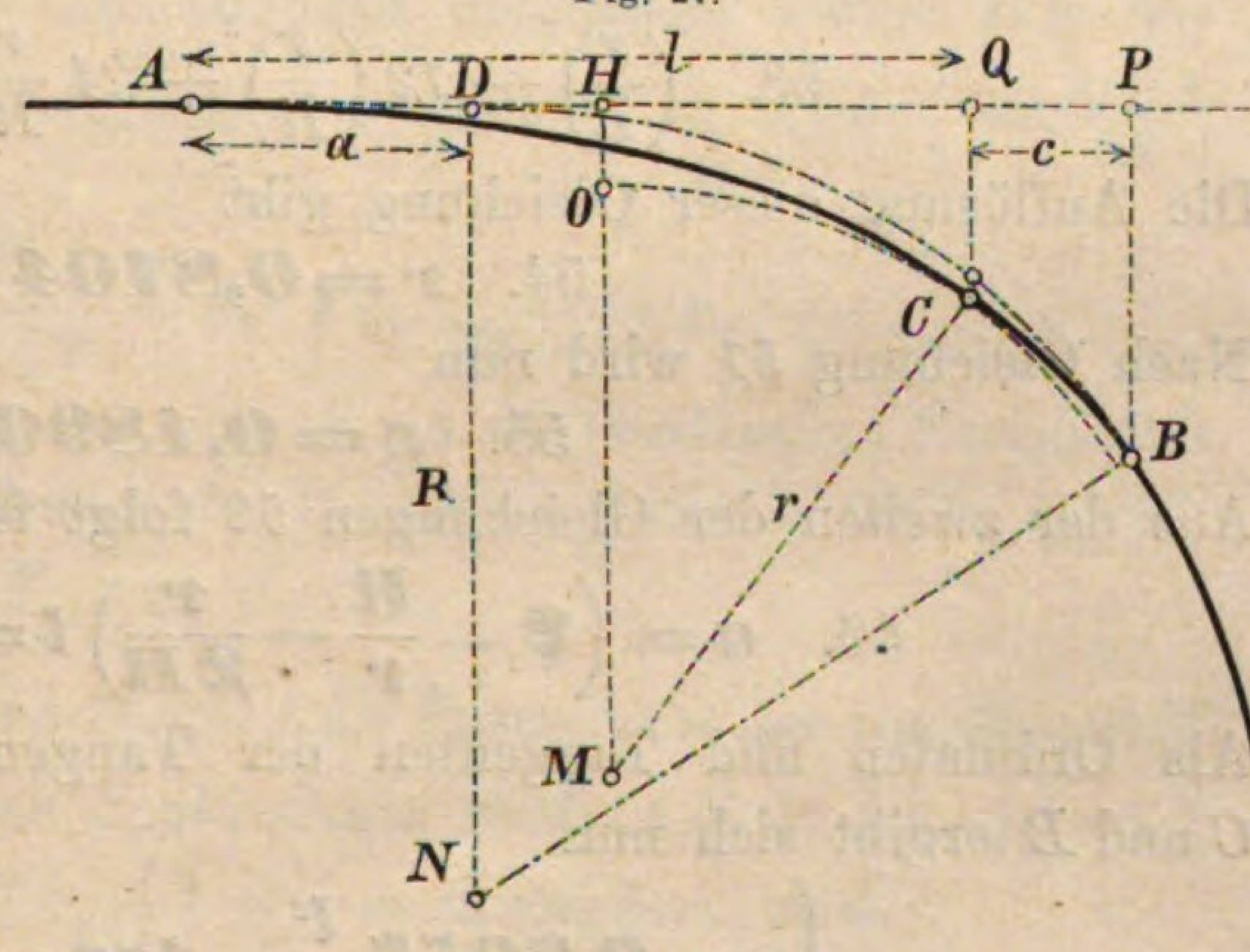
$$50.\quad \eta_1 = \mathbf{\frac{l^2 R}{24 e r} = y_0 \frac{R}{e}}.$$

Beispielsweise wird für $e = 0{,}05\,r,\ 0{,}1\,r,\ 0{,}2\,r$ bezüglich $\eta_1 = 21\,y_0$, $11\,y_0$, $6\,y_0$ oder $= 5{,}25\,\eta,\ 2{,}75\,\eta,\ 1{,}50\,\eta$.

Die Ueberhöhung wird man bei dieser Anordnung in der Strecke AC dem Radius entsprechend zunehmen lassen, während man dieselbe in der Strecke CB wieder so weit abnehmen lässt, als es die vorhandene Ueberhöhung in dem unveränderten Gleise fordert. Hinsichtlich der Wahl der Länge l gilt das in §. 22 Gesagte. Den Unterschied e in den Radien R und r wird man nicht zu gross wählen, damit die Unregelmässigkeit der Ueberhöhung im Kreisbogenstücke CB nicht zu gross ausfällt, aber auch nicht zu klein, damit die Länge des zu verrückenden Gleisstückes sich nicht zu gross ergibt. Passend wird man e etwa $= 0{,}05\,R$ wählen.

4. Am vollkommensten wird die allmählige Ueberführung offenbar erreicht, wenn man auch statt des Kreisbogens CB eine kubische Parabel einschaltet, deren Krümmungsradius von C nach B von r bis R zunimmt. Bezeichnen wir für diese Anordnung (Fig. 27) die der Abscisse x entsprechende Ordinate der Kurven AC und CB mit y und y_1, so ergibt sich unter der Annahme, dass sich der Krümmungsradius in beiden Kurven auf gleiche Längen um gleich viel ändert, leicht

Fig. 27.



$$y = \frac{x^3}{6rl},\quad y_1 = \frac{x^3 - 2(x - l)^3}{6rl}.$$

Bezeichnen wir die Ordinaten CQ und BP mit η und η_1, so ist sonach, da für den Punkt B offenbar $x = l + c$ zu setzen ist,

$$\eta = \frac{l^2}{6r},\quad \eta_1 = \frac{(l + c)^3 - 2c^3}{6rl}.$$

Bezeichnen wir noch den Winkel, welchen die Tangente in C und B mit der Abscissenaxe einschliesst mit ε und ε_1, so ist $\tan\varepsilon = \frac{dy}{dx}$ für $x = l$ und $\tan\varepsilon_1 = \frac{dy_1}{dx}$ für $x = l + c$, d. i.

$$\tan\varepsilon = \frac{l}{2r}, \quad \tan\varepsilon_1 = \frac{(l+c)^2 - 2c^2}{2rl}.$$

Damit der Krümmungsradius von C nach B von r auf R zunehme, muss

$$51. \quad \boldsymbol{c = \frac{R - r}{R}\, l}$$

sein. Dies eingesetzt, gibt

$$\eta_1 = \frac{(2R - r)^3 - 2(R - r)^3}{6R^3 r}\, l^2 = \frac{(6R^3 - 6R^2 r + r^3)\, l^2}{6R^3 r},$$

$$\tan\varepsilon_1 = \frac{(2R - r)^2 - 2(R - r)^2}{2R^2 r}\, l = \frac{(2R^2 - r^2)\, l}{2R^2 r}.$$

Damit sich nun die Uebergangskurve tangential an den gegebenen Kreis anschliesse, muss annähernd $\eta_1 = \frac{(l + c - a)^2}{2R}$, $\tan\varepsilon_1 = \frac{l + c - a}{R}$ sein. Setzt man für c seinen Werth und sodann η_1 und $\tan\varepsilon$ den eben aufgestellten Ausdrücken gleich, so ergibt sich

$$52. \quad \begin{cases} (6R^3 - 6R^2 r + r^2)\, l^2 = 3r\,(2Rl - rl - Ra)^2, \\ (2R^2 - r^2)\, l = 2r\,(2Rl - rl - Ra). \end{cases}$$

Erhebt man die zweite Gleichung zum Quadrat, multiplicirt sie sodann mit 3 und subtrahirt hiervon die mit $4r$ multiplicirte erste Gleichung, so ergibt sich $3\,(4R^4 - 4R^2 r^2 + r^4) - 4r\,(6R^3 - 6R^2 r + r^3) = o$ oder

$$53. \quad \left(\frac{r}{R}\right)^4 - 12\left(\frac{r}{R}\right)^2 + 24\,\frac{r}{R} - 12 = o.$$

Die Auflösung dieser Gleichung gibt

$$54. \quad \boldsymbol{r = 0{,}8104\, R.}$$

Nach Gleichung *51* wird nun

$$55. \quad \boldsymbol{c = 0{,}1896\, l.}$$

Aus der zweiten der Gleichungen *52* folgt ferner

$$56. \quad \boldsymbol{a = \left(2 - \frac{R}{r} - \frac{r}{2R}\right) l = 0{,}3556\, l.}$$

Als Ordinaten und Tangenten der Tangentenwinkel für die Punkte C und B ergibt sich nun

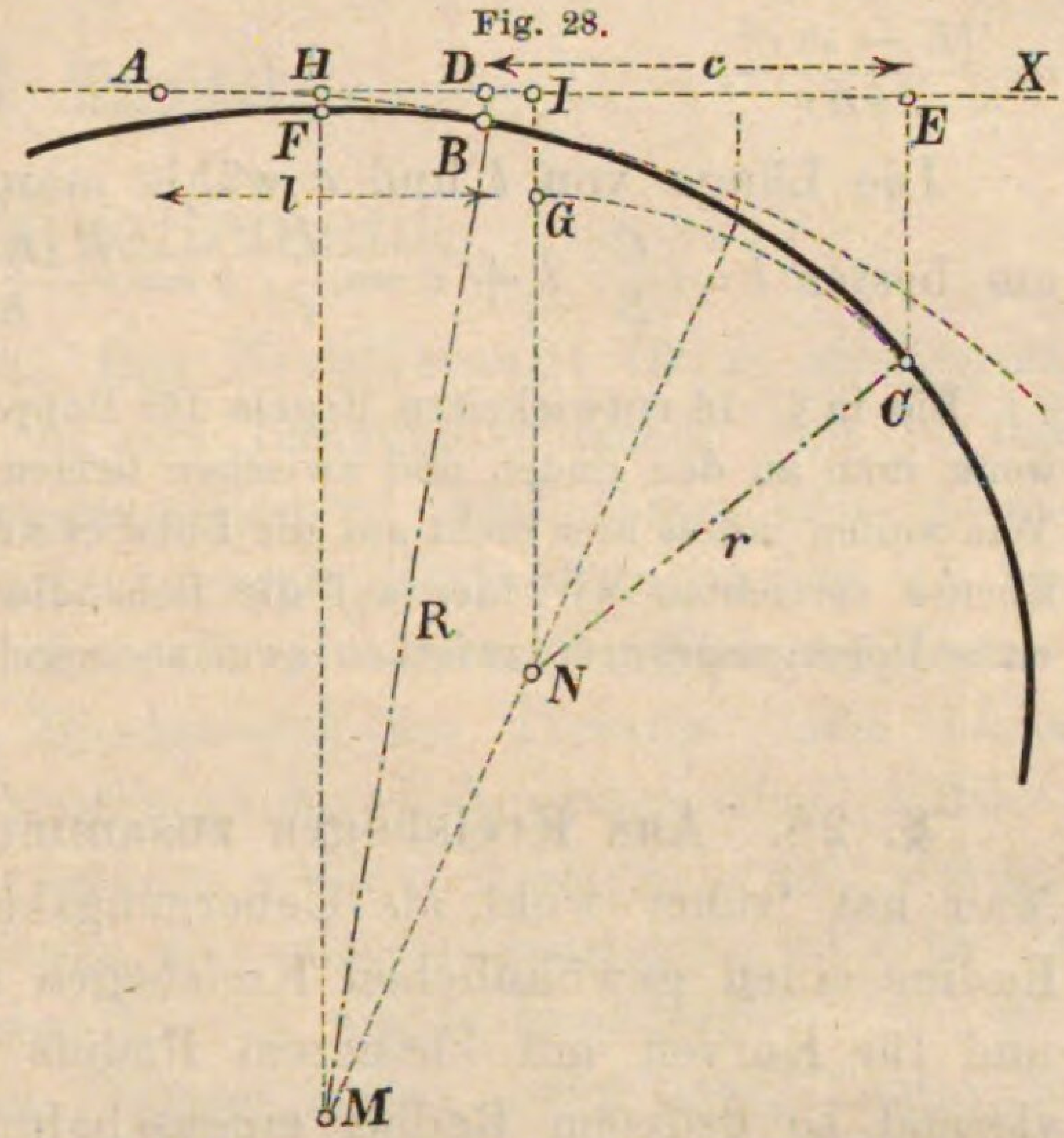
$$57. \quad \begin{cases} \boldsymbol{\eta = 0{,}2057\,\frac{l^2}{R}, \quad \tan\varepsilon = 0{,}6170\,\frac{l}{R};} \\ \boldsymbol{\eta_1 = 0{,}3434\,\frac{l^2}{R}, \quad \tan\varepsilon_1 = 0{,}8287\,\frac{l}{R}.} \end{cases}$$

Die nothwendige Verrückung des Gleises in den Punkten D und C ergibt sich bezüglich zu $0{,}00925\,\frac{l^2}{R}$ und $0{,}00140\,\frac{l^2}{R}$.

Nach dem in N. 3 angenommenen Principe finden sich Tabellen in dem Taschenbuche von Sarrazin und Oberbeck. Hier ist $e = 10^m$ für $R = 150$ bis 300^m, $e = 25^m$ für $R = 300$ bis 600^m, $e = 50^m$ für $R = 600$ bis 1200^m, $e = 100^m$ für $R = 1200$ bis 3000^m gesetzt.

§. 27. Verbindung zweier Kreisbögen durch eine Uebergangskurve. Es erübrigt jetzt noch den Fall zu behandeln, dass zwei Kreisbögen mit verschiedenem Radius R und r durch eine kubische Parabel BC zu verbinden seien (Fig. 28). Der Radius $MB = R$ sei der grössere. A sei der Punkt der Verlängerung der kubischen Parabel, in welchem der Krümmungsradius $= \infty$ wird; die Tangente im Punkte A wählen wir als Abscissenaxe, den Punkt A selbst als Koordinatenanfang. Bezeichnen wir die Länge AD des verlängerten Stückes mit l, so wird für die kubische Parabel

Fig. 28.



$$\frac{1}{\varrho} = \frac{x}{lR}, \quad \frac{dy}{dx} = \frac{x^2}{2lR}, \quad y = \frac{x^3}{lR}.$$

Bezeichnet man die in der Abscissenaxe gemessene Länge DE der wirklich einzuschaltenden Uebergangskurve mit c, so wird $\frac{1}{r} = \frac{l+c}{lR}$, mithin

$$58. \quad \boldsymbol{c = \frac{R - r}{r}\, l, \quad l = \frac{r}{R - r}\, c.}$$

Der Abstand der Uebergangskurve von einem der verlängten Kreisbögen im Abstande ξ von dem betreffenden der Tangentialpunkte B und C ist nach dem Froude'schen Satze $= \frac{\xi^3}{2rl}$.

Ferner ist annähernd, wenn H und I die Fusspunkte der von M und N auf die Abscissenaxe gefällten Senkrechten sind, $AH = \frac{1}{2}\, l$, $AI = \frac{1}{2}(l + c)$, also $HI = \frac{1}{2}(l + c) - \frac{1}{2}\, l = \frac{1}{2}\, c$; ausserdem wird

$$59. \quad \begin{cases} HF = \dfrac{l^2}{24R}, \quad IG = \dfrac{(l+c)^2}{24r}; \\ BD = \dfrac{l^2}{6R}, \quad CE = \dfrac{(l+c)^2}{6r}. \\ \tan \angle BMF = \dfrac{l}{2R}, \quad \tan \angle CNG = \dfrac{l+c}{2r}. \end{cases}$$

Die Verlängerung der Centrale MN schneidet die Uebergangskurve BC nach dem im §. 23 unter 3 nachgewiesenen Satze in ihrer Mitte. Hier ist der Abstand der Uebergangskurve von beiden Kreisen nach dem Froude'schen Satze gleich gross und zwar $= \frac{1}{6lR}\left(\frac{c}{2}\right)^3 = \frac{(R-r)\,c^2}{48Rr}$. Gleichzeitig ist hier der Abstand der beiden Kreise am kleinsten, nämlich $= \frac{(R-r)\,c^2}{24Rr}$.

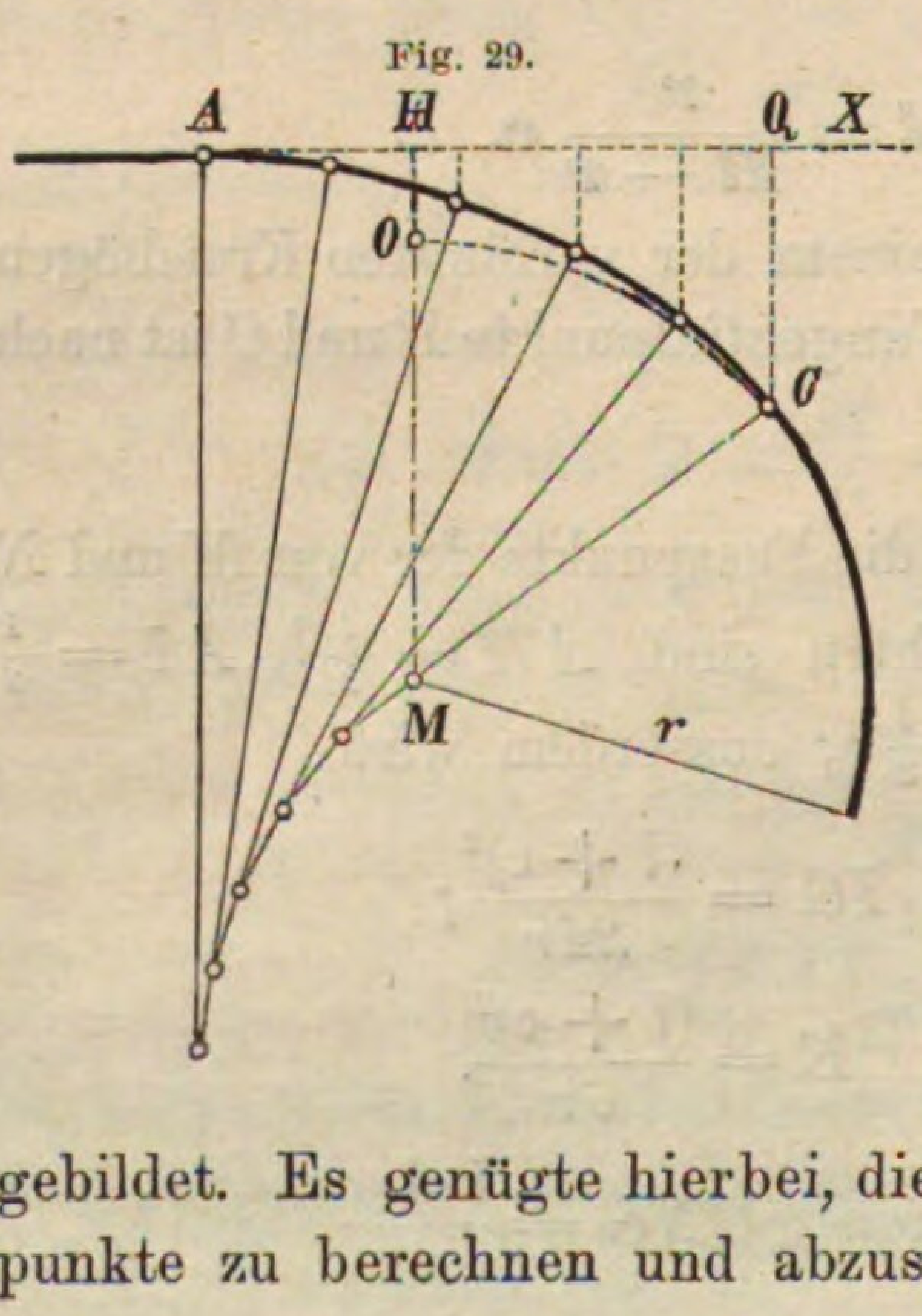
Die Länge von l und c wählt man nach dem in §. 22 Gesagten, am besten $l = \frac{C}{R}$, $l + c = \frac{C}{r}$, $c = \frac{C\,(R-r)}{Rr}$.

Die in §. 16 entwickelten Regeln für Doppelkurven sind natürlich zu modificiren wenn man an den Enden und zwischen beiden Bögen Uebergangskurven anwendet. Wir wollen indess hier nicht auf die Entwickelungen dieser Modifikationen eingehen. Ebenso verzichten wir hier auf die Behandlung der nachträglichen Einschaltung einer Uebergangskurve zwischen zwei aneinanderstossende Kreisbögen.

§. 28. Aus Kreisbögen zusammengesetzte Uebergangskurven. Man hat früher wohl als Uebergangskurve für Kurven mit grösserem Radius einen gewöhnlichen Kreisbogen mit doppelt so grossem Radius und für Kurven mit kleinerem Radius zwei Kreisbögen mit zwei- und viermal so grossem Radius eingeschaltet (z. B. Brennerbahn). Dieser Anordnung ist indess die Anwendung der kubischen Parabel bei Weitem vorzuziehen.

Wesentlich vollkommener wird die Uebergangskurve, wenn man sie aus einer Reihe von Kreisbögen mit immer kleiner werdendem Radius zusammensetzt (Fig. 29). So setzte man sie bei der österreichischen Nordwestbahn aus einzelnen Kreisbögen von *5 Meter* Länge mit den Radien *1000, 900, 800, 700, 600, 500, 400, 300 Meter* zusammen. In jedem Falle reihte man, immer mit *1000 Meter* beginnend, so viele Stücke aneinander, dass das letzte Stück den nächst grösseren Radius als die Hauptkurve erhielt (Fig. 29). Hatte beispielsweise die Hauptkurve einen Radius von *650 Meter*, so wurde die Uebergangskurve aus vier Stücken mit den Radien *1000, 900, 800, 700 Meter* gebildet. Es genügte hierbei, die Abscissen und Ordinaten der Trennungspunkte zu berechnen und abzustecken.

Fig. 29.



Dieses Verfahren ist einfach und nicht unrationell; wir glauben indess nicht, dass es der Anwendung einer wirklichen kubischen Parabel vorzuziehen wäre.

II. Kapitel.

Das Nivellement.

§. 29. Wahl der Punkte. Das Nivellement (fr. *le nivellement*, engl. *the levelling*) theilt sich in das Längennivellement und in das Quernivellement. Für das Längennivellement sind ausser den eigentlichen Stationspunkten noch andere sogen. Zwischenpunkte zu bezeichnen und zwar 1. solche Punkte, die zur Darstellung eines Längenprofiles nöthig sind, also alle Brechpunkte des Terrains, falls solche bemerkbar sind, und bei einem kontinuirlichen Uebergange solche Punkte, zwischen denen das Terrain als nahezu geradlinig angenommen werden kann; 2. solche Punkte, an denen zur Massenberechnung Querprofile nöthig sind, worüber im nächsten Kapitel weiter gesprochen wird. Bei sehr gleichförmig gekrümmtem Terrain nimmt man wohl auch die Zwischenpunkte in der Mitte der Hauptpunkte an, während bei sehr schwach gekrümmtem oder nahezu ebenem Terrain Zwischenpunkte in der Regel gar nicht nöthig sind.

Diese Punkte steckt man entweder beim Stationiren oder bei einer nach dem Stationiren vorzunehmenden Kontrolmessung ab. Man bezeichnet sie gewöhnlich durch sogen. Pickets oder Schindeln mit kleinen lateinischen Buchstaben, wobei man meist in jeder neuen Station mit *a* beginnt.

Neben alle zu nivellirende Terrainpunkte schlägt man meist kleine Niveaupfähle, auf welche die Nivellirlatte aufgesetzt wird.

Ausser diesen Terrainpunkten nivellirt man auch noch Fixpunkte, welche in der Nähe der Trasse liegen, wie Grenzsteine, Meilensteine, Thürschwellen, Brückengesimse u. s. w., um bei dem später auszuführenden Baue für die Höhenlage der Planie eine sichere Norm zu gewinnen. Sind solche Fixpunkte nicht vorhanden, so müssen sie durch Einschlagen starker Pfähle, durch Marken an Bäumen oder Mauern, Einsetzen von Steinen etc. gebildet werden.

Ebenso nivellirt man zur Kontrole die bereits beim Vornivellement nivellirten Punkte und endlich auch alle auf das Projekt Einfluss habenden Wasserstände.

Man misst die Entfernung eines jeden Zwischenpunktes stets vom vorhergehenden Stationspunkte. Das Messungsresultat stellt man in einer Tabelle von etwa folgender Form zusammen:

Stationirungs-Protokoll.

Punkt	*Entfernung*	*Bezeichnung der Objekte*	*Bodengattung*	*Bemerkungen und Skizzen*
373	*100,0*		*Acker*	
b	*76,0*			
373	*100,0*	*Tiefster Punkt*		
A	—			*A, 3 Meter links von der Trasse, zum Fixpunkt geeignet.*
374	*100,0*	*Grenzstein*		
a	*32,6*	*Weg von Beckenried nach Emmatten*	*Weg*	
b	*34,4*			
c	*38,9*			
d	*46,7*			
375	*100,0*		*Wiese*	
BA	*37,7*	*Bogenanfang*		

Man verbindet aber wohl auch diese Tabelle mit der Nivellementstabelle (siehe den folgenden §.).

Man trägt wohl auch die Maasse anstatt in einer Tabelle in eine Skizze ein, welche die Situation des auf beiden Seiten der Trasse befindlichen Terrains enthält. Jedoch ist dies nicht gerade nothwendig, und es genügt, einzelne Stellen, wo Skizzen die Deutlichkeit erhöhen, je nach Bedürfniss im Grundrisse, Längs- und Querschnitte zu skizziren, wie Weg- und Bachübergänge, Durchschneidung von Ortschaften u. s. w.

§. 30. Das Längennivellement. Alle in der soeben besprochenen Weise bezeichneten Punkte werden nivellirt. Den Vorgang beim Nivelliren müssen wir natürlich, als in die „Geodäsie" gehörend, als bekannt voraussetzen.

Bei kleinen Bächen kann man die Tiefen an einzelnen Punkten mit der Nivellirlatte und die Distanzen mit der Kette messen. Bei grösseren Bächen und Flüssen ist natürlich das Messen mittels einer Peilleine und Peilstange nach den im „Wasserbau" gezeigten Regeln erforderlich.

Die Punkte, welche von zwei Instrumentaufstellungen gleichzeitig nivellirt werden, die sogen. Anbindepunkte, müssen besonders genau nivellirt werden, da sich ein hier gemachter Fehler weiter trägt. Man wählt sie einfach oder doppelt; im letzteren Falle erhält man die Höhendifferenz beider Punkte doppelt, hat also eine Kontrole für das richtige

Ablesen, so dass diese Methode wenigstens für weniger Geübte zu empfehlen ist. Liegt der Unterschied zwischen beiden Höhendifferenzen innerhalb der unvermeidlichen Beobachtungsfehler, so vertheilt man diesen Unterschied auf alle vier beobachtete Höhen, z. B.

Beobachtet.

Punkt	Lattenhöhen rückwärts	Lattenhöhen vorwärts	Terrain steigt	Terrain fällt
α	*1,125*	*0,906*	*0,219*	
β	*0,906*	*0,794*	*0,112*	
α	*1,847*	*1,968*		*0,121*
	1,968	*1,633*	*0,335*	

Korrigirt.

Punkt	Lattenhöhen rückwärts	Lattenhöhen vorwärts	Terrain steigt	Terrain fällt
α	*1,125*	*0,908*	*0,217*	
β	*0,908*	*0,791*	*0,117*	
α	*1,849*	*1,966*		*0,117*
	1,966	*1,633*	*0,333*	

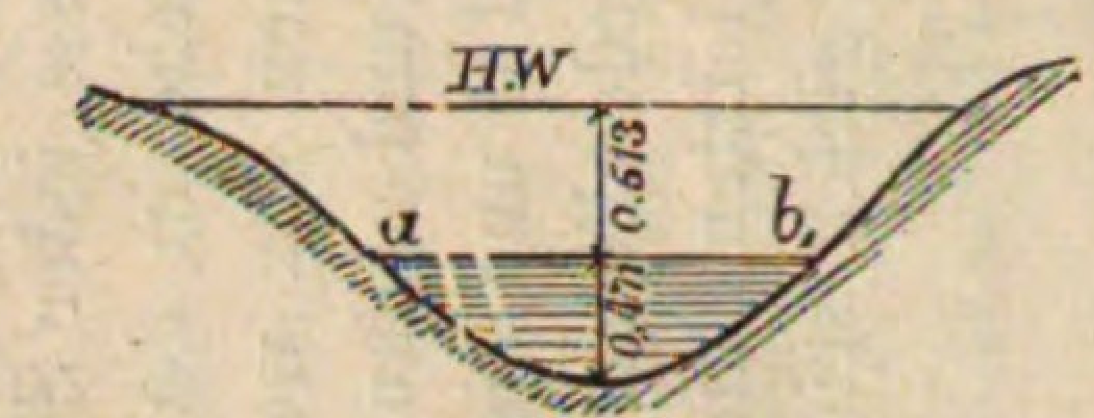
Hier ist der Unterschied der beiden beobachteten Höhendifferenzen *9;* desshalb sind die Höhen *0,906* und *1,847* in der letzten Decimalstelle je um *2* zu vergrössern, die Höhen *0,794* und *1,968* um *3* und *2* zu vermindern, indem $9 = 2 + 2 + 3 + 2$ gesetzt ist.

Das Nivellementsprotokoll (Notizbuch in Oktavformat) wird verschieden angelegt; im Folgenden sind zwei Formulare mitgetheilt.

1. Protokoll für doppelte Aufschreibungen (S. 40). Bei diesem Protokolle (folgende Seite) denkt man sich das Instrument stets zwischen zwei auf einander folgenden Punkten aufgestellt, so dass jede Visur zweimal einzutragen ist, einmal nach vorwärts, einmal nach rückwärts. Die Differenzen der Zielhöhen zweier auf einander folgender Punkte sind die Höhen, um welche das Terrain von einem Punkte zum andern steigt oder fällt. Durch successive Addition dieser Zahlen zur Ordinate oder Höhe des ersten Punktes ergeben sich die Ordinaten oder Höhen der einzelnen Punkte. Am Schlusse jeder Seite ist eine Kontrole nöthig. Nachdem man die Zahlen, welche in den Rubriken 3 und 4, 5 und 6 gleich sind, gegenseitig gestrichen hat, werden alle noch übrigen Zahlen der Rubriken 3 bis 6 addirt und sodann die Differenzen der Summen in den Rubriken 3 und 4, 5 und 6 und die Differenz der ersten und letzten Zahl der Rubrik 7 gebildet; jede dieser Differenzen ist offenbar der Höhenunterschied des ersten und letzten Punktes der betreffenden Seite, alle diese Differenzen müssen also gleich sein.

Nivellements-Protokoll.

Punkte 1	Entfernungen 2	Lattenhöhen rückwärts 3	Lattenhöhen vorwärts 4	Terrain steigt 5	Terrain fällt 6	Ordinate 7	Bemerkungen und Skizzen 8
c	88,0					47,326	(Siehe Fig. 31.)
		1,013	1,116		0,103		
53	100,0					47,223	
		1,116	1,462		0,346		
A						46,877	A. Grenzstein, 6 Meter rechts von der Trasse.
		1,462	1,695		0,233		
a	40,4					46,644	
		1,695	1,695				
b	58,7					46,644	
		1,695	1,497	0,198			
c	64,0					46,842	
		1,497	1,125	0,372			
54	100,0					47,214	Hochwasser: Lattenhöhe = 1,182, Ordinate = 47,157
		1,125	0,908	0,217			
α						47,431	
		0,908	0,791	0,117			
β							
		1,849	1,966		0,117		
α							
		1,966	1,633	0,333			
a	16,0					47,764	
		1,633	1,505	0,128			
B A	26,68					47,892	Bogenanfang.
		1,505	1,220	0,285			
b	51,2					48,177	
		1,220	1,162	0,058			
c	77,9					48,235	c Gartenzaun.
		1,162	1,054	0,108			
55	100,0					48,343	
		2,962	1,845	1,699	0,682		
Kontrole		1,017		1,017		1,017	



Staufenbach

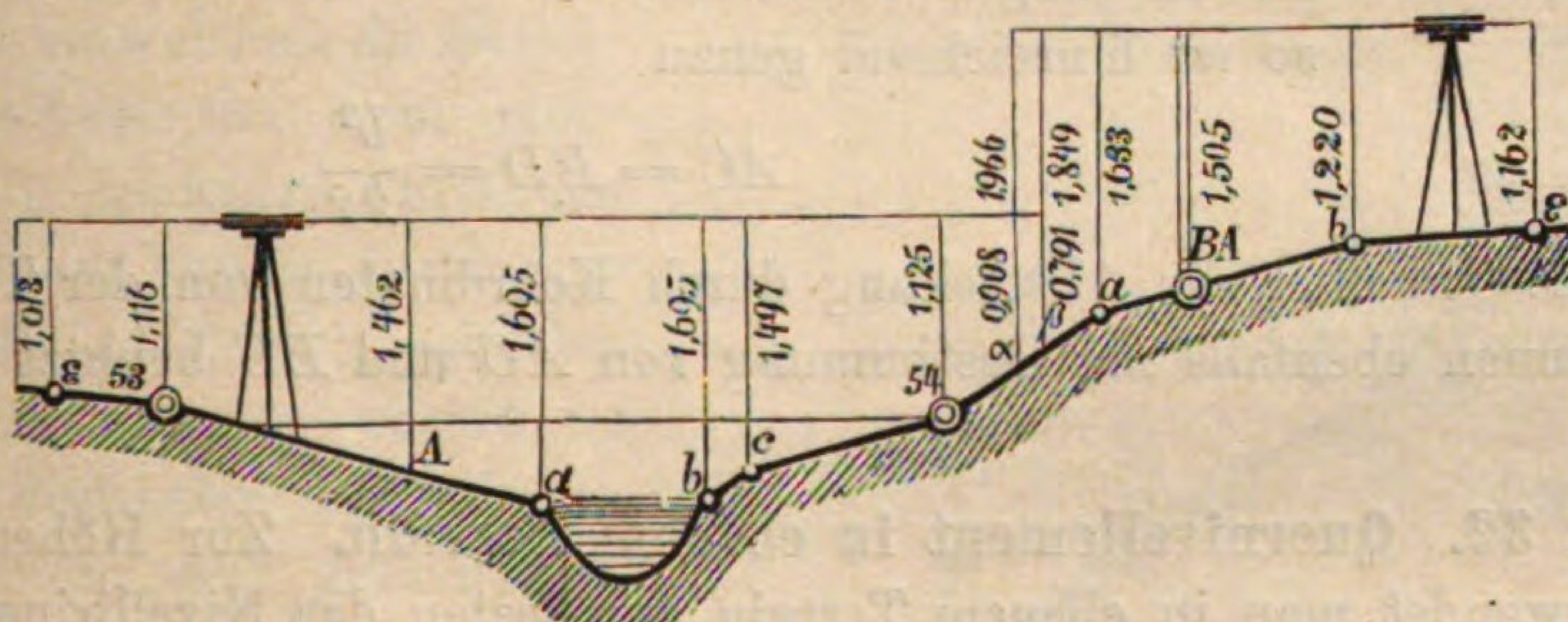
2. Protokoll für einfache Aufschreibung.

Nivellements-Protokoll.

Punkte	Horiz. Entfer-nung	Visurhöhe		Höhe über dem Horizonte		Bemer-kungen
		Anschluss	Fortsetzung	Visurebene	Terrain	
1	2	3	4	5	6	7
c	88,0	1,013	—	48,339	47,326	
53	100,0	—	1,116	„	47,223	
A	—	—	1,462	„	46,877	
a	40,4	—	1,695	„	46,644	
b	58,7	—	1,695	„	46,644	
54	100,0	—	1,125	„	47,214	
α	—	1,966	0,908	49,397	—	
a	16,0	—	1,633	„	47,764	
BA	26,68	—	1,505	„	47,892	

Bei diesem Protokolle werden nur die Visurhöhen eines Anbindepunktes als letzten Punktes für eine Aufstellung in die Rubrik 4 und als ersten Punktes für die neue Aufstellung in die Rubrik 3 eingeschrieben. Die Differenz der Visurhöhen der Anbindepunkte gibt den Höhenunterschied der Visurebenen. Von den Höhen derselben über dem Horizonte werden alle Visurhöhen subtrahirt, um die Ordinaten oder Höhen der Terrainpunkte zu erhalten.

Fig. 31.



Die beiden Rubriken 3 und 4 könnten auch noch in einzige vereinigt werden; alsdann wäre nur nöthig, jeden Anbindepunkt in der Rubrik 1 zweimal hintereinander aufzuschreiben.

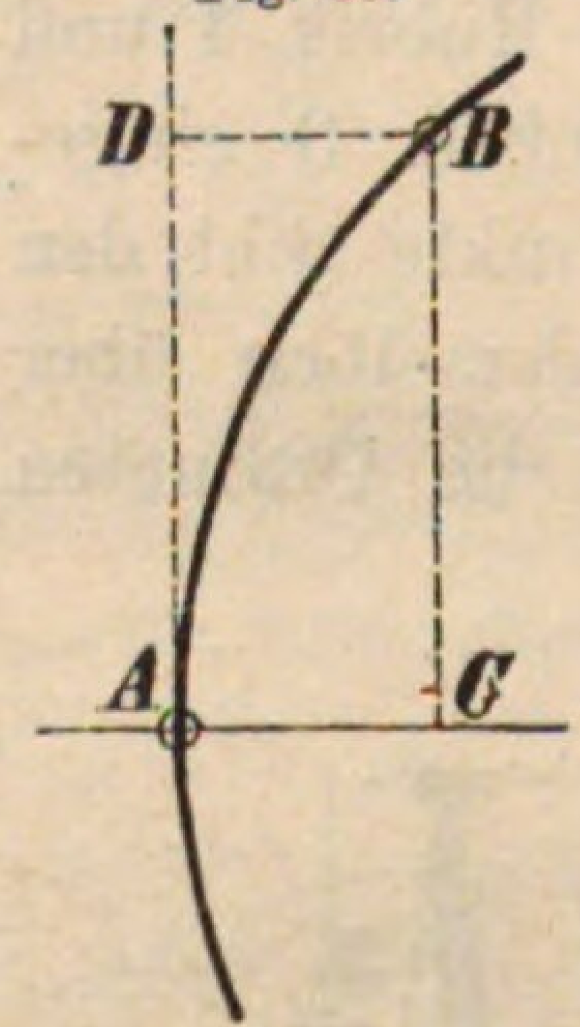
Bei Anwendung eines besonderen Stationirungsprotokolles kann bei beiden Methoden die Rubrik 2 entfallen und die Rubrik 8 schmäler gehalten werden.

Gegenwärtig ist fast überall das Protokoll 2 für einfache Aufschreibung mit verschiedenen Modifikationen üblich, da es sowohl in der Aufschreibung, als in der späteren Berechnung der Ordinaten weniger zeitraubend ist, als das Protokoll 1 für doppelte Aufschreibung.

§. 31. Absteckung der Querprofile. Zur Absteckung der zur Axe senkrechten Vertikalebene an denjenigen Punkten, an denen Querprofile aufzunehmen sind, kann entweder mit Hülfe eines Winkelkreuzes (incl. Winkeltrommel) oder eines Winkelspiegels (oder Winkelprismas) erfolgen; der Winkelspiegel ist indess dem Winkelkreuze vorzuziehen, da seine Handhabung wesentlich einfacher ist. Bei steilem Terrain ist allerdings der Winkelspiegel nicht mehr gut verwendbar; hier aber wendet man zur Absteckung und Aufnahme der Querprofile besser ein später zu erwähnendes Winkelinstrument an.

Der eine Gehülfe setzt den Kettenstab A im Punkte der Axe ein und richtet den andern Kettenstab B so ein, dass die Vertikalebene AB auf der Axe (genauer auf deren Horizontalprojektion) senkrecht steht. Ist nun diese Seite nivellirt, so setzt der Gehülfe an Stelle des Kettenstabes B eine Stange ein, so dass sich der andere Kettenstab auf der anderen Seite der Trasse in der Verlängerung von BA einrichten lässt.

Fig. 33.



Im Bogen stellt man eine Stange in einem der nächsten Bogenpunkte B (Fig. 33) auf und stellt den Winkelspiegel neben dem betreffenden Bogenpunkte A in C auf, wobei AC so zu berechnen ist, dass BC parallel zur Tangente in A wird; oder man stellt den Winkelspiegel in A auf und neben B stellt man eine Signalstange in einer solchen Entfernung BD auf, dass AD Tangente an den Bogen wird. Ist $AB = b$ und der Radius $= r$, so ist hinreichend genau

$$AC = BD = \frac{b^2}{2r}.$$

Die Tabellen zur Absteckung durch Koordinaten von der Tangente aus können ebenfalls zur Bestimmung von AC und BC benutzt werden.

§. 32. Quernivellement in ebenem Terrain. Zur Höhenbestimmung wendet man in ebenem Terrain am besten das Nivellirinstrument an. Der eine Gehülfe setzt die Nivellirlatte in den zum Auftragen des Querprofiles nöthigen Punkten auf und liest an der Kette die Entfernungen dieser Punkte von der Axe ab, ohne dass vorher Pflöcke geschlagen werden, und ruft sie dem Ingenieur zu, während dieser die Höhenkoten abliest.

Man kann meist von einem Standpunkte aus mehrere Querprofile aufnehmen. Zuweilen aber kann auch dasselbe Querprofil mehrere Aufstellungen erfordern. Die Maasse trägt man in eine Skizze (Fig. 34) oder in einer Tabelle von etwa folgender Form ein:

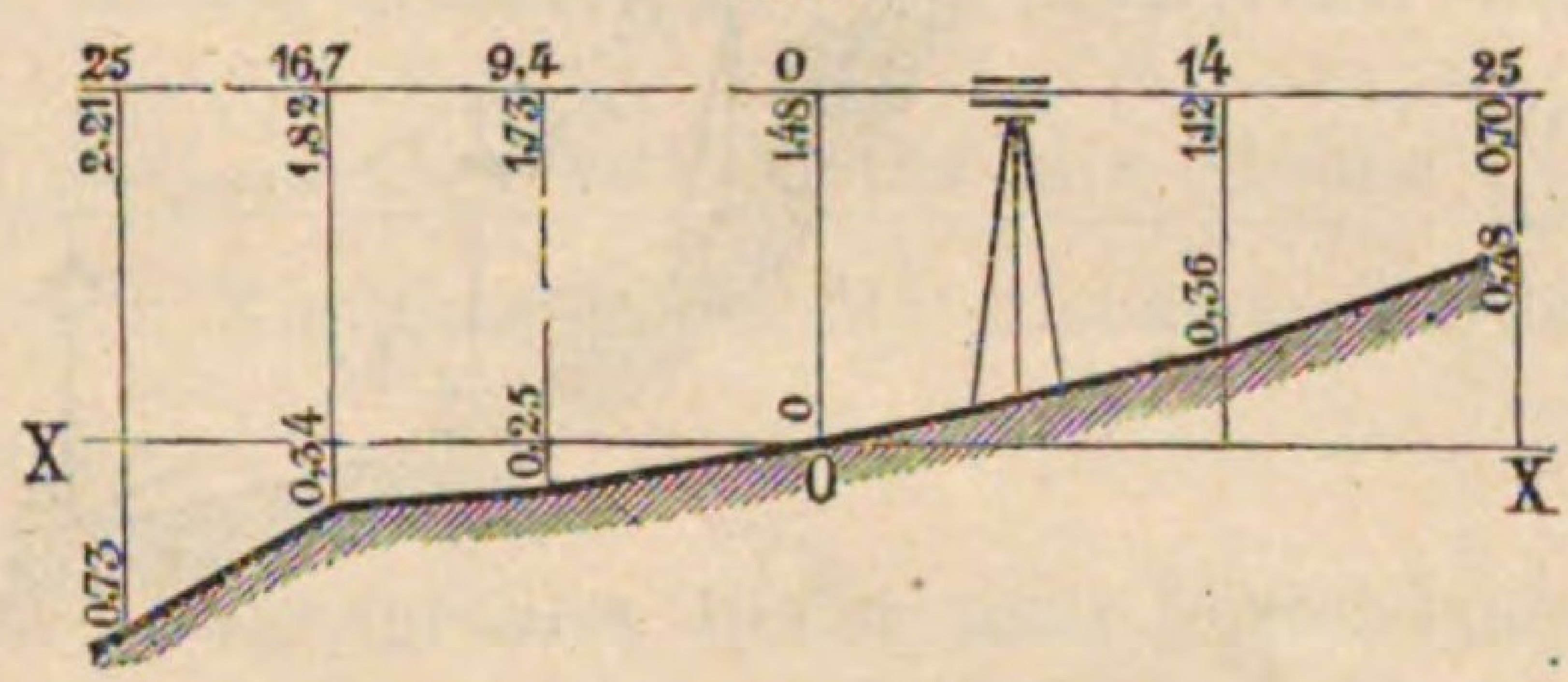
Querprofile.

Nr.		Links					Rechts			
43	Abstände		25,0	16,7	9,4	0	14,0	25,0		
	Visurhöhe		2,21	1,82	1,73	1,48	1,12	0,70		
	Ordinate		— 0,73	— 0,34	— 0,25	0	+ 0,36	+ 0,78		

Bei Anwendung von Tabellen werden indess hier und da immer noch Skizzen nöthig.

Zum Auftragen des Profiles berechnet man die Höhen über und unter einer Horizontalen *XX*, welche durch den in der Axe liegenden Terrainpunkt *0* (Fig. 34) geht.

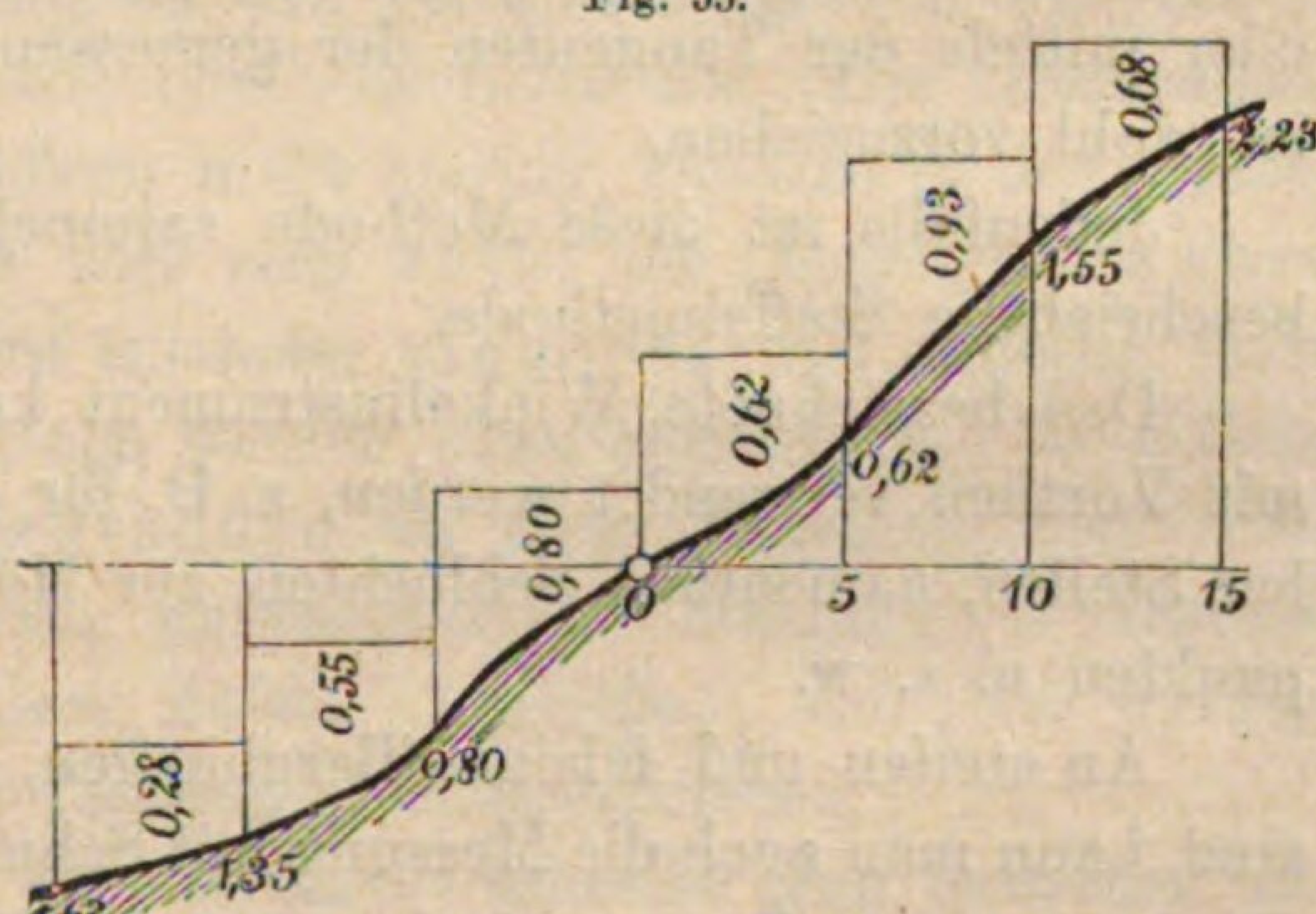
Fig. 34.



§. 28. Quernivellement in stark geneigtem Terrain. Bei starker Neigung des Terrains wird die Anwendung des Nivellirinstrumentes zu beschwerlich, weil zu viele Aufstellungen nöthig werden. Hier können je nach den vorhandenen Instrumenten oder der Neigung des Ingenieurs folgende zwei Methoden in Anwendung kommen:

a. Das Staffelnivellement, bei welchem die Höhenunterschiede der, wenn möglich, in gleichen Abständen gewählten Punkte durch eine Waagelatte mit Libelle bestimmt werden, welche an zwei vertikalen Latten, von denen die eine getheilt ist, angelegt wird (Fig. 35). Das Weitere gehört in die „Geodäsie“.

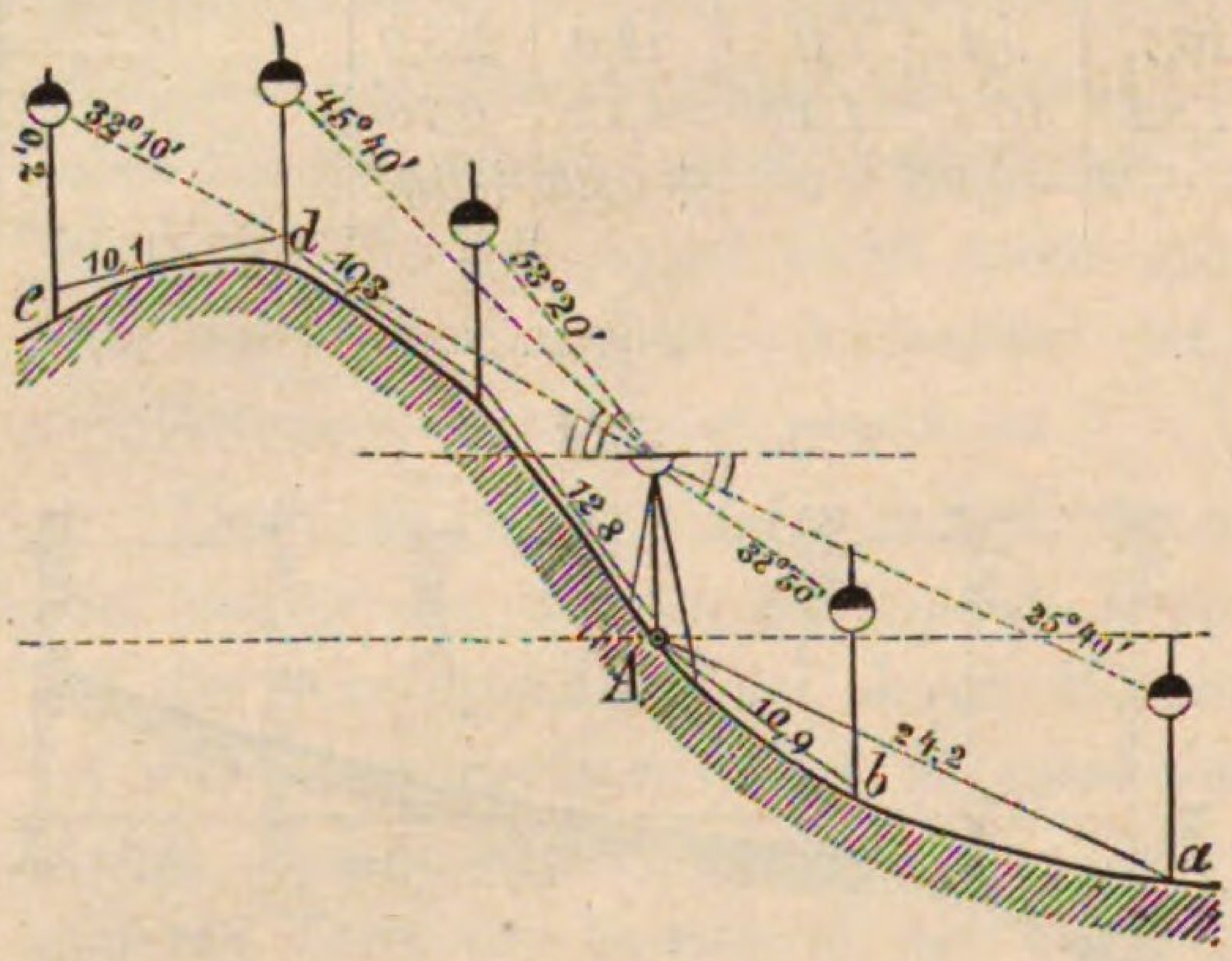
Fig. 35.



b. Mittels Höhenwinkel. In den meisten Fällen ist es vorzuziehen, mit Hülfe eines Winkelinstrumentes mit Höhenkreis die Höhenwinkel zu messen. Das Instrument stellt man in dem in der Axe gelegenen Punkte *A* (Fig. 36) des Querprofiles auf und stellt nun die Zielscheibe einer Nivellirlatte genau auf die Instrumenthöhe ein. Die Latte wird nun in den Terrainpunkten *a*, *b*, *c* etc. vertikal aufgesetzt während man mit dem Instrumente die Höhenwinkel bestimmt. Wenn die Zielscheibe für irgend einen Punkt, z. B. für den Punkt *c*, nicht sichtbar

sein sollte, so muss sie um ein bestimmtes zu messendes Stück höher gestellt werden. Die Entfernungen misst man mit dem Messbande und zwar am besten auf konkavem Terrain in Richtung der von *A* ausgehenden Sehnen *Aa*, *Ab*, auf konvexem Terrain aber von Punkt zu Punkt, so dass also die Längen *Ac*, *cd*, *de* bestimmt werden.

Fig. 36.



Als Winkelinstrument kann z. B. eine mit einem Höhenkreise versehene Kippregel angewendet werden. Ein Theodolith wäre hierzu zu fein. Zweckmässig aber ist es, ein besonderes Instrument hierzu anzuwenden, mit welchem man die Höhenwinkel auf etwa 10 Minuten genau bestimmen kann. Als Visurvorrichtung dient ein gewöhnliches Diopter. Ausser dem in vertikaler Ebene beweglichen Diopter bringt man noch ein zweites festes Diopter an, dessen Visurebene auf dieser Vertikalebene senkrecht steht, um die letztere leicht in die zur Bahnaxe senkrechte Lage bringen zu können.

Das Auftragen erfolgt entweder mittels eines guten Transporteurs oder mittels der Tangenten der gemessenen Höhenwinkel. Das letztere ist wohl vorzuziehen.

Jedenfalls ist diese Methode rationeller und einfacher als die vorbeschriebene Staffelmethode.

Das bezeichnete Winkelinstrument kann auch zu anderen Zwecken mit Vortheil verwendet werden, z. B. für das Längennivellement an steilen Stellen, namentlich Schluchten, zur Höhenbestimmung von Schichtenpunkten u. s. w.

An steilen und felsigen Berghängen, wo Stative schwer aufzustellen sind, kann man auch die Messung mit Schnuren vornehmen, deren Neigung durch einen an ihnen aufgehängten Gradbogen (entsprechend der sogen. Markscheiderwage) gemessen wird.

III. Kapitel.

Grafische Arbeiten.

§. 34. Das Längenprofil. Nach dem Längennivellement wird das Detail-Längenprofil konstruirt. Die Längen pflegt man in $\frac{1}{3000}$ bis $\frac{1}{2000}$, die Höhen aber in $\frac{1}{300}$ bis $\frac{1}{100}$ nat. Grösse aufzutragen. In Oesterreich war bisher für die Längen $\frac{1}{2880}$ (*1 Zoll = 40 Klafter*), für die Höhen $\frac{1}{288}$ (*1 Zoll = 4 Klafter*) üblich; nach Einführung des Metermaasses ist dafür $\frac{1}{2500}$ und $\frac{1}{250}$ gewählt worden.

Die Darstellungsweise des Längenprofiles findet man verschieden ein Beispiel zeigt Taf. II.

Häufig begrenzt man das Profil durch zwei Horizontalen (wie auf Taf. II.); an der unteren gibt man die Horizontalmaasse, an der oberen die Bezeichnung der Terrainpunkte (Flurgrenzen, Wege, Bäche etc.) an. Die obere Horizontale lässt man aber auch oft weg. Alle Maasse und Namen, welche sich auf das Terrain beziehen, werden schwarz eingeschrieben.

Nachdem man das Längenprofil des Terrains dargestellt hat, zeichnet man das der Eisenbahnplanie oder Nivellette ein. Die Grundsätze, nach denen dies geschieht, gehören nicht hierher, sondern in das eigentliche Trassiren. Die Aufträge legt man roth, die Abträge schwarz oder gelb an. Mauerwerk wird entweder zinnoberroth angelegt oder roth schraffirt; Eisenkonstruktionen werden blau angedeutet. Die Höhen der Nivellette oder die Projekthöhen an allen einzelnen nivellirten Terrainpunkten werden aus dem angenommenen Steigungsverhältnisse berechnet, nicht etwa mit dem Zirkel abgegriffen; dieselben werden neben den Terrainhöhen roth (Zinnober) eingeschrieben.

Die Neigungsverhältnisse der Nivellette schreibt man entweder unmittelbar an die Nivellette oder unter die untere Horizontale (Taf. II). Die Krümmungsverhältnisse gibt man gewöhnlich unter der unteren Horizontalen in der auf Taf. II gezeigten Weise an, welche auch erkennen lässt, ob die Bahn nach rechts oder links gekrümmt ist.

Die Differenzen zwischen Terrain- und Projekthöhen, d. h. die Höhen der Aufträge und Tiefen der Abträge oder die sogen. Auf- und Abtragskoten schreibt man am besten blau (Ultramarin) ein; meist findet man sie indess roth. Alle Objekte des Projektes, wie Wegübergänge, Durchlässe, Futtermauern, Brücken, Wächterhäuser etc. bezeichnet man

meist mit rother Schrift; Brücken und Durchflüsse bezeichnet man auch wohl mit blauer Schrift.

Die Grabensohlen zeichnet man ebenfalls ein und zwar etwa für den rechten Graben durch eine gestrichelte, für den linken durch eine strichpunktirte und für einen beiderseitigen Graben durch eine ausgezogene blaue Linie an. Auch andere auf Wasserstandsverhältnisse Bezug habende Angaben pflegt man blau einzutragen.

Wächterhäuser bezeichnet man am besten durch eine Fahne, die entweder nach der rechten oder linken Seite weht, je nachdem sich das Wächterhaus auf der rechten oder linken Seite der Bahn befindet.

Ausser diesem Detail-Längenprofile konstruirt man stets noch ein generelles oder General-Längenprofil, in welchem die Längen und Höhen, namentlich die ersteren, in einem wesentlich kleineren Maassstabe aufgetragen werden.

§. 35. Querprofile. Nach den aufgenommenen Terrainprofilen und den berechneten Auf- und Abtragskoten lassen sich nun die Querprofile des Projektes construiren. Der Maassstab ist hierzu passend ebenso gross zu wählen, wie für die Höhen im Längenprofile. In der Darstellung gibt man entweder die Terrainlinien schwarz, die Projektslinien roth an und lässt die Flächen weiss; oder man zieht alle Linien schwarz aus und legt die Flächen, welche den Auf- und Abtrag darstellen, mit denselben Farben an, wie im Längenprofile (Taf. III).

Die Auf- und Abtragskoten schreibt man blau ein. Die Maasse, welche man zur Konstruktion des Terrainprofiles aufgetragen hatte, werden nicht eingeschrieben, weil sie für das Weitere keine Bedeutung haben.

Oefters kommt es vor, dass man ein Querprofil an einer Stelle zu konstruiren hat, an welcher bei den Arbeiten auf dem Felde kein Quernivellement ausgeführt wurde. In einem solchen Falle muss das Terrainprofil mit Benutzung der beiden benachbarten, aufgenommenen Querprofile interpolirt werden, wobei man die Annahme macht, dass Vertikalebenen, welche der Bahnaxe parallel sind, das Terrain in geraden Linien schneiden. Hiernach ist es sehr leicht, für irgend einen Abstand von der Axe die Ordinate des zu interpolirenden Profiles zu konstruiren oder zu berechnen.

§. 36. Höhen- und Breitentabellen. Die Neigungsverhältnisse der Nivellette stellt man gewöhnlich tabellarisch, etwa nach folgendem Schema, zusammen:

Neigungstabelle.

Nr.	Strecke von	Strecke bis	Länge	Steigung	Horizontal	Fall	Höhe der Brechpunkte
	Station	Station	Meter				Meter
							72,084
5	96 + 17	132	3583	—	—	0,003	
							61,335
6	132	173 + 27	4127	—	—	0,005	
							41,700
7	173 + 27	232 + 82	5955	—	Horiz.	—	
							41,700
8	232 + 82	257 + 3	2421	0,006	—	—	
							56,226

Die Neigungen werden in möglichst runden Zahlen, entweder in Decimalbrüchen, in Promillen oder in gewöhnlichen Brüchen angegeben.

Die Höhen der Nivellette an den Stations- und Zwischenpunkten werden, wie bereits im vorigen §. bemerkt, aus den Entfernungen und Neigungsverhältnissen berechnet.

Alle für das Projekt gefundenen Maasse, welche zur unmittelbaren Ausführung des Baues nöthig sind, stellt man in einer Tabelle zusammen. Man kann hierbei die Höhen und Breiten in zwei gesonderten Tabellen zusammenstellen und nennt alsdann die erstere die Höhentabelle oder das geschriebene Längenprofil, die letztere die Breitentabelle, oder man kann beide Tabellen zu einer Höhen- und Breitentabelle oder Projektstabelle vereinigen.

Im Folgenden ist sowohl ein Schema für die Höhentabelle als für die vereinigte Projektstabelle angegeben:

Höhentabelle.

Punkt	Horiz. Entfernung	Neigung	Höhe des Terrains	Höhe des Projekts	Auftragskote	Abtragskote	Bemerkungen
283	100,0	Horizont.	67,928	73,254	5,326	—	
284	100,0		67,834	73,254	5,420	—	
a	32,7		70,044	73,254	3,210	—	
b	81,0		70,359	73,254	2,895	—	
285	100,0	1 : 350	72,515	73,308	0,793	—	Uebergang bei 285
BA	32,5		73,777	73,401	—	0,376	+ 22,0
a	75,0		74,376	73,522	—	0,854	

Die folgende Projektstabelle bezieht sich auf das auf Taf. I bis IV dargestellte Projekt.

Die Breiten entnimmt man mit dem Zirkel aus den Querprofilen.

Zur Erleichterung der Bestimmung der Planienhöhen berechnet man sich gewöhnlich Tabellen. Im Buchhandel finden sich die Tabellen von Junker, welche die Höhenunterschiede für die Neigungen *1 : 40*, *1 : 41*, *1 : 42*, ... *1 : 70*, *1 : 75*, ... *1 : 100*, *1 : 110*, ... *1 : 500*, *1 : 520*, ... *1 : 600*, *1 : 650*, ... *1 : 1000* und für die Distanzen *1*, *2*, *3* ... *100* enthält.

Projektstabelle.

Bezeichn. der Strecke	Punkt	Distanz	Ordinate des Terrains	Ordinate des Projekts	Tiefe der Einschnitte	Höhe der Dämme	Breite der Einschnitte und Dämme links	Breite der Einschnitte und Dämme rechts	Gesammtbreite des Projektes links	Gesammtbreite des Projektes rechts	Bemerkungen
Damm am Grasbach	c	54,8	11,971	17,355	—	5,384	12,06	12,64	14,26	13,14	Bei 54 + 56,3 Grasbach. Durch-
	d	57,9	11,954	17,390	—	5,436	12,22	7,92	14,42	8,42	lass N. V.
	BE	85,7	12,620	17,693	—	5,073	11,52	7,82	13,72	8,32	Von 54 + 66 bis 55 + 16 rechts
	55	100,0	13,220	17,857	—	4,637	10,83	7,45	13,03	7,95	Steinschüttung.
	a	11,8	13,517	17,988	—	4,471	10,76	7.54	12,96	8,04	
	b	13,9	13,505	18,034	—	4,529	10,74	7,53	12,94	8,03	Bei 55 + 13,8 Weg von Kufhäusl
	d	47,2	14,221	18,391	—	4,170	10,03	11,81	12,23	12,31	nach Pinsdorf. Wegüber-
	BA	98,0	16,523	18,924	—	2,401					brückung N. VI.
	56	100,0	16,630	18,964	—	2,334	7,46	8,95	9,66	9,45	
	a	6,3	16,763	19,027	—	2,264					
	b	8,9	16,786	19,053	—	2,267	7,18	8,56	8,38	9,06	Bei 56 + 7,6 Weg nach dem Stein-
	BC	26,0	17,316	19,224	—	2,908					bruche.
	c	61,0	18,664	19,574	—	0,910	9,38	7,23	11,98	7,73	Bei 56 + 69 Uebergang aus Auf-
Einschnitt vor Pinsdorf	d	91,0	22,398	19,874	2,524	—	13,60	8,42	15,60	8,92	trag in Abtrag.
	57	100,0	22,907	19,964	2,943	—	11,23	8,40	13,28	8,90	
	a	27,0	24,787	20,234	4,553	—	11,99	8,34	14,04	8,84	
	b	72,0	26,130	20,634	5,496	—	12,41	8,78	14,46	9,28	Von 57 + 93 bis 57 + 99 rechts
	58	100,0	26,321	20,964	5,357	—	12,79	5,23	14,84	5,73	Futtermauer.

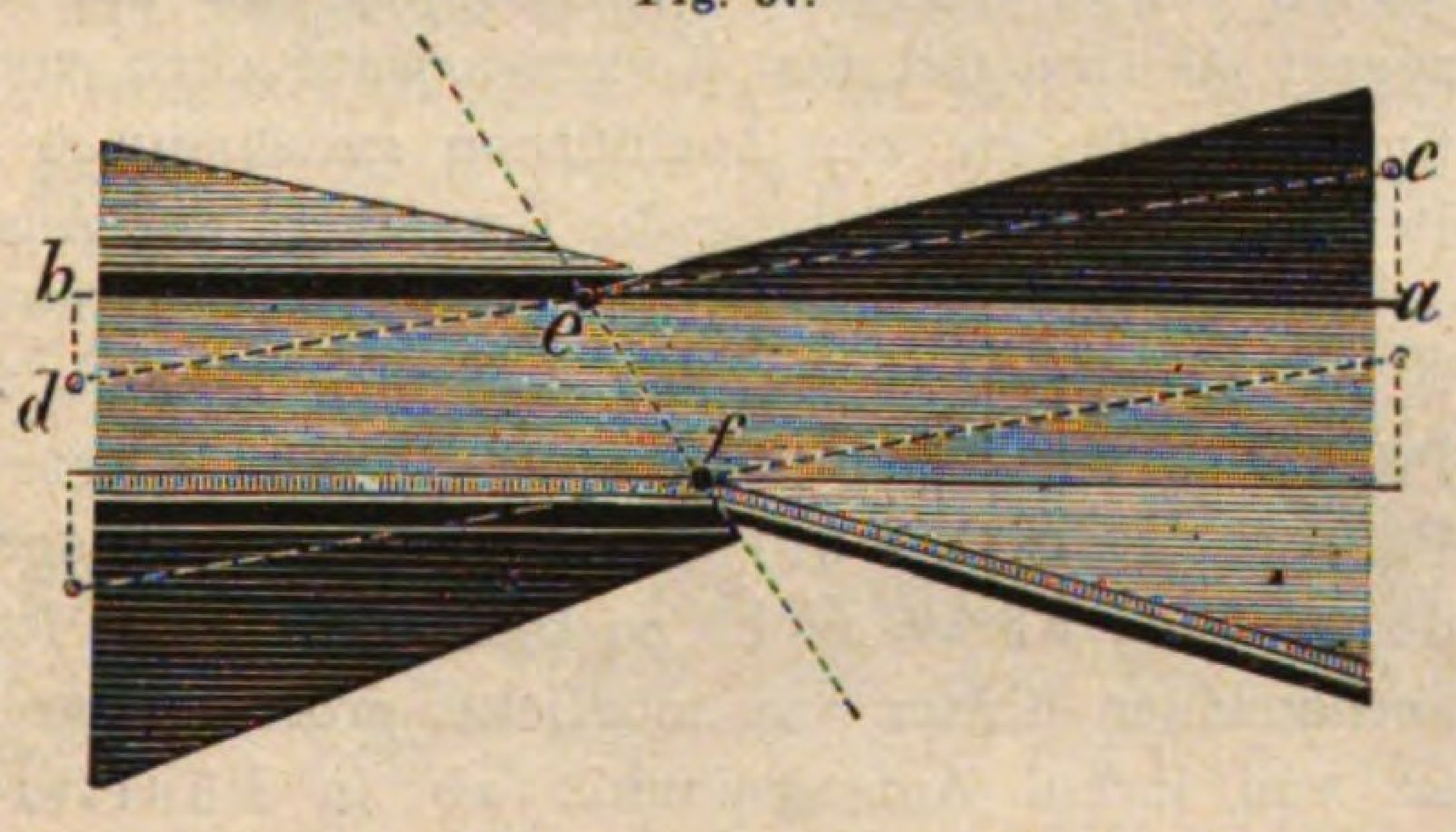
§. 37. Grundriss. Nach den in die Breitentabelle eingetragenen Breiten lässt sich auch das Projekt in den Grundriss oder Situationsplan eintragen. Der Grundriss des Terrains selbst musste bereits bei der Stationirung vorliegen, wozu man entweder bereits bestehende Pläne verwendet, oder, falls solche nicht vorliegen, besondere Messtischaufnahmen macht, worüber wir beim „Trassiren" weiter sprechen werden. Als Maassstab verwendet man denselben Maassstab wie zu den horizontalen Längen des Längenprofils; jedoch stellt man einzelne Objekte, wie Wegübergänge, Stromverlegungen u. s. w., wenn nöthig, in etwa doppelt so grossem Maassstabe dar.

Ein Beispiel für die Ausführung eines solchen Grundrisses geben wir auf Taf. I.

Die Planie der Bahn legt man licht graublau, die der neuen Wege braungelb an. Die Böschungen werden meist nach der gewöhnlichen Beleuchtungstheorie, nicht nach der Methode der Bergschraffirung, schattirt und in den Aufträgen roth, in den Abträgen gelb, oder auch in den Aufträgen grün, in den Abträgen braun angelegt. Stein-, Holz- und Eisenkonstruktionen zeichnet man bezüglich roth (Zinnober), braungelb und blau ein. Die Bezeichnung aller bereits bestehenden Objekte erfolgt mit schwarzer, die Bezeichnung aller neuen Objekte mit rother Schrift.

Die Punkte, in welchen die Planiekanten das Terrain schneiden, in denen also Auftrag in Abtrag übergeht, findet man leicht, indem man den Durchschnitt einer durch die betreffende Kante gelegten Vertikalebene mit dem Terrain darstellt, wobei man die Durchschnittslinien zwischen den beiden zunächst liegenden Profilen geradlinig annimmt (Fig. 37).

Fig. 37.



Zur Darstellung des Grundrisses der einzelnen Objekte, wie Planieübergänge, Durchlässe, Brücken, Futtermauern, Wächterhäuser u. s. w. muss man natürlich mit der Konstruktion dieser Objekte, worauf wir hier nicht eingehen können, bekannt sein. Wir geben nur in Fig. 38 bis 41 einige Beispiele.

Fig. 38.

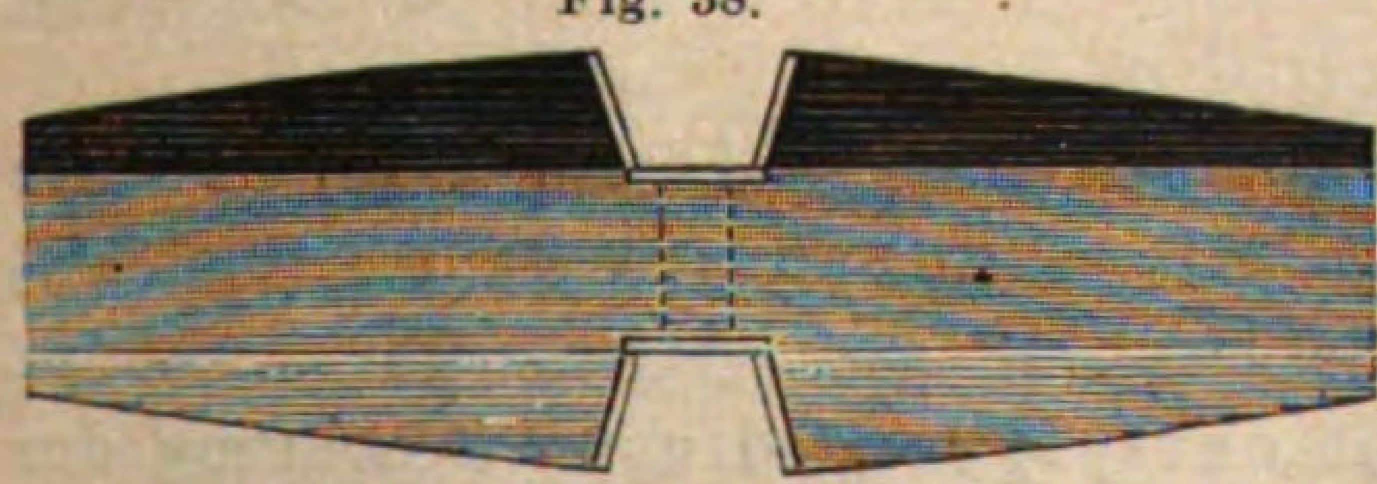
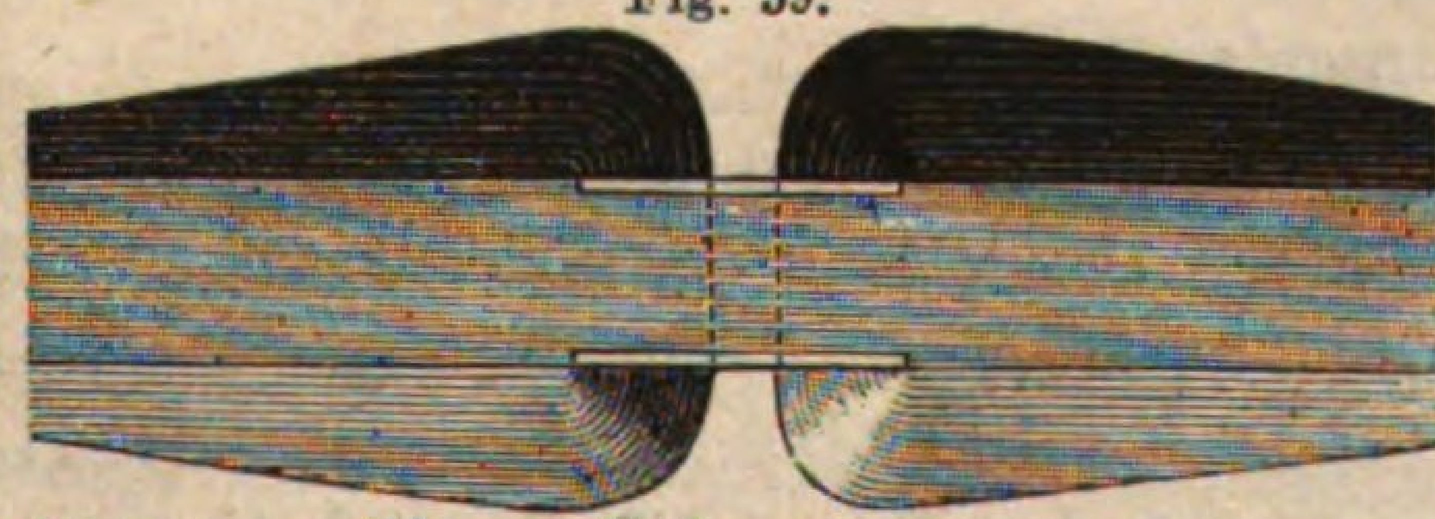
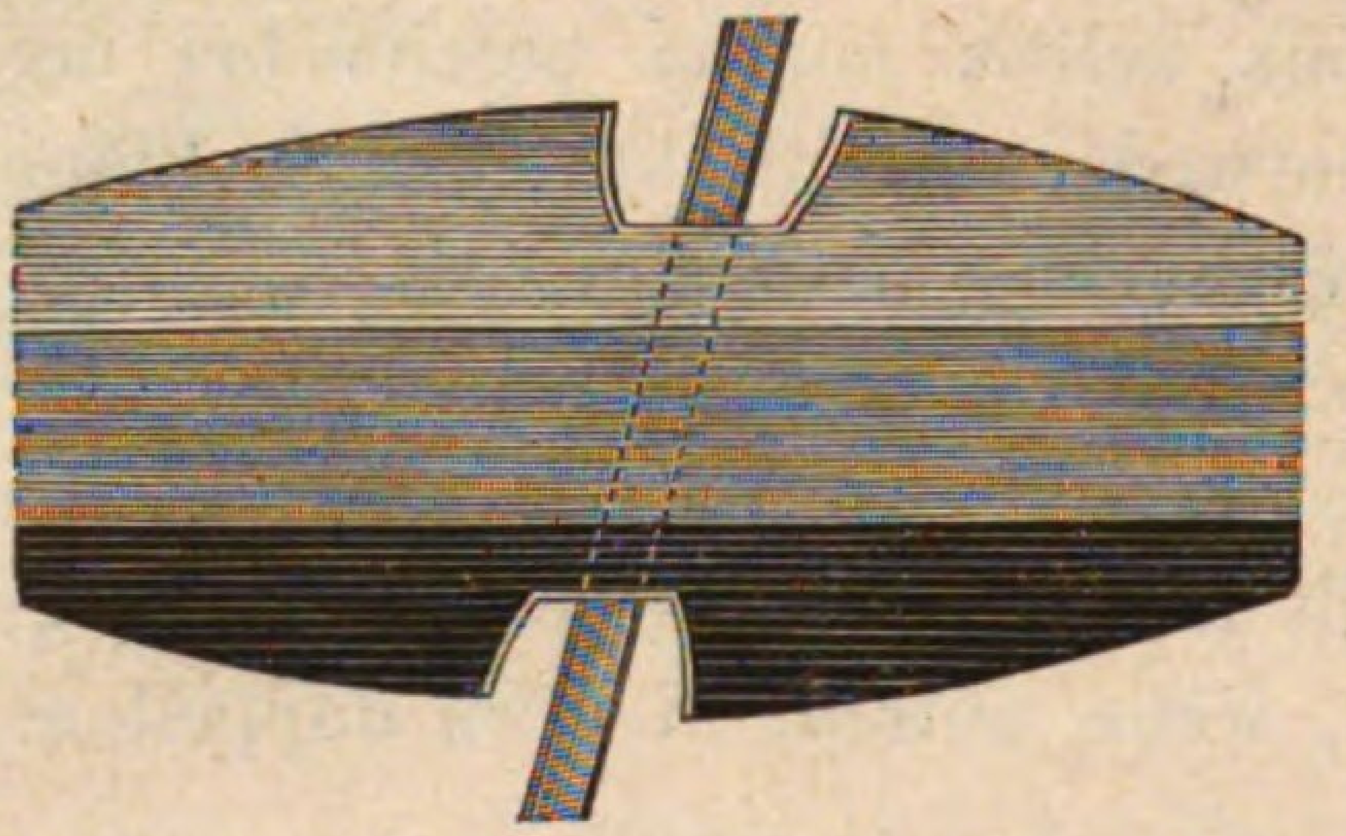


Fig. 39.



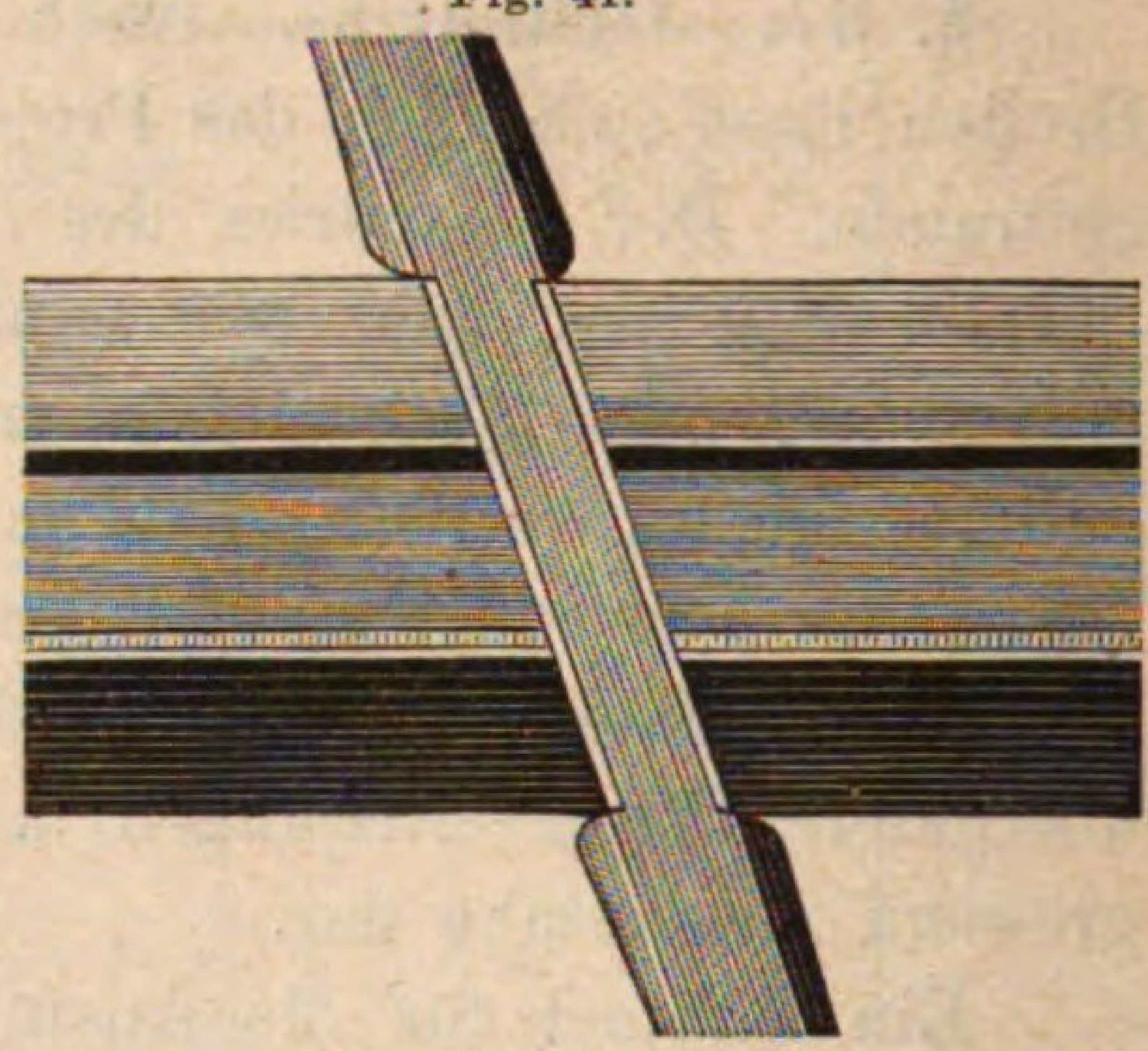
Durchlass oder Wegunterführung. — ($^1/_{1000}$ n. Gr.)

Fig. 40.



Durchlass.

Fig. 41.



Wegüberführung.

($^1/_{1000}$ n. Gr.)

§. 38. Gesetzliche Vorschriften. Meist hält man sich mit der Wahl des Maassstabes und mit der Art und Weise der Ausführung der Zeichnungen an die in einzelnen Ländern bestehenden gesetzlichen Bestimmungen für die bei der Regierung zum Zwecke der Koncessionirung einzureichenden Vorlagen. Wir geben im Folgenden einen Auszug aus den in Preussen und Oesterreich bestehenden Bestimmungen, soweit dieselben die in Rede stehende grafische Darstellung betreffen.

Bestimmungen für die Aufstellung der technischen Vorarbeiten zu Eisenbahn-Anlagen in Preussen.

§. 1. Die Vorarbeiten sind entweder generelle oder specielle. Die ersteren dienen zur allgemeinen Beurtheilung und zur vorläufigen Feststellung des Bahnzuges; sie sind mit den Koncessionsgesuchen vorzulegen. Die letzteren bilden die Entwürfe für die zur Ausführung genehmigten Bahnen und sind nach bewirkter Revision und Feststellung die Grundlage der Ausführung.

§. 2. Die generellen Vorarbeiten bestehen a) in einer Darstellung des Bahnzuges durch Eintragung desselben in eine angemessene Karte. In denjenigen Provinzen, von denen die Generalstabs-Karten vorhanden sind, ist in solche der Bahnzug mit zinnoberrother Linie einzutragen. In denjenigen Provinzen, von denen diese Karten nicht zu beschaffen sind, ist die Situation in eine der besten vorhandenen Karten von möglichst grossem Maassstabe einzutragen. Die Bahnlinie ist von ihrem Anfangspunkte ab in Fünftel-Meilen einzutheilen; die vollen Meilen sind mit arabischen Ziffern zu bezeichnen. b) In der Darstellung des Längenprofiles und der ungefähren Situation der nächsten Umgebung der Bahnlinie, nach einem Maassstabe von $^1/_{10000}$ nat. Gr. für die Längen und $^1/_{500}$ nat. Gr. für die Höhen. Bei dem Normalhorizonte ist stets dessen Höhenlage gegen den Amsterdamer Pegel anzugeben. Auch müssen die Profile von dem Geometer unterschrieben und die Zeit der Aufnahme bemerkt werden. (c) Beschreibung, d) Kostenanschlag.)

§. 3. Die einzureichenden speciellen Vorarbeiten bestehen: a) in einer näheren Darstellung der Situation und des Nivellements der Bahn. (b) bis f) Objekte, Oberbau, Bahnhöfe, Erläuterungs-Bericht.)

§. 4. Die Situations- und Nivellementspläne sind unter Beachtung der nachfolgenden Vorschriften anzufertigen:

a) Für die ganze Bahn findet eine fortlaufende Eintheilung nach Kilometern statt. Die Specialpläne werden nach dieser Eintheilung bearbeitet und Situation und Längenprofil dabei in der Regel auf einem und demselben Blatte unter einander gestellt.

b) Zu der Situation und den Längen des Nivellements ist ein Maassstab von $^1/_{2500}$ anzuwenden; die Höhen im Profile sind nach einem Maassstabe von $^1/_{250}$ aufzutragen.

c) Die Bahnlinie ist in Stationen von *100 Meter* Länge mit Unterabtheilungen von *50 Meter* einzutheilen, die mit vom Anfangspunkte der Bahn ab fortlaufenden Ziffern bezeichnet werden; jede fünfte Station wird im Profile noch durch stärker ausgezogene Ordinaten hervorgehoben. Die Kilometer sind mit römischen Ziffern unter den betreffenden Stationszahlen, unter dem Kurvenbande die ganzen und Zehntel-Meilen einzutragen.

d) Die Lage der zwischen den Stationspunkten etwa noch erforderlichen Ordinaten ist durch Einschreiben ihrer Entfernung von dem vorhergehenden Stationspunkte festzustellen, desgleichen die Kurven-Anfangs- und Endpunkte und Gefällwechsel.

e) Die Situationspläne sind in einer Breite von *250 Meter* an jeder Seite der Bahnlinie herzustellen; die Gestaltung des Terrains ist, soweit es zur Beurtheilung der gewählten Richtung und Höhenlage der Bahn erforderlich, durch Horizontalen in Abständen von *1 bis 5 Meter* anzugeben. Der Bahnkörper ist mit allen seinen Nebenanlagen vollständig einzutragen. Alles Bestehende ist mit schwarzen Linien zu zeichnen und schwarz zu beschreiben; der Bahnkörper dagegen, sowie alle Projekte sind mit Zinnoberroth einzuzeichnen und zu beschreiben. Auf jedem Blatte muss die Nordlinie angegeben werden.

f) In die Nivellementspläne sind die Projekte gleichfalls mit Zinnoberroth einzuzeichnen, die Kommunikations- und Bahnhofs-Anlagen, die Planums-Ordinaten, Auf- und Abtragshöhen und Neigungen damit zu beschreiben, während die Brücken, Durchlässe und Wasserstandsverhältnisse blau zu beschreiben sind. Die Seitengräben der Bahn sind ebenfalls blau einzutragen. Alle bestehenden Gegenstände werden auch in den Nivellementsplänen schwarz beschrieben.

g) Die höchsten und niedrigsten Stände aller Gewässer, die auf die Bahn-Anlage von Einfluss sind, sowie deren Fachbäume und Pegel, die Beschaffenheit der Bodenarten, die Tiefen der von der Bahn berührten Moore und Brüche, die Thürschwellen der der Bahn nahe liegenden Gebäude und alle Festpunkte, an welche das Nivellement angeschlossen, insbesondere die Schienenhöhe eines bestimmten Punktes auf dem nächsten Eisenbahnhofe, müssen in den Profilen vollständig bezeichnet sein.

h) Der Normalhorizont muss jedesmal durch den Nullpunkt des Amsterdamer Pegels angenommen werden. Wenn sich hierbei für einzelne Blätter zu lange Ordinaten ergeben, so kann die Horizontale (jedoch immer nur um volle 10 Meter) höher gelegt werden, was in den Profilen anzugeben ist. Die Längen der Ordinaten sind jedoch überall auf den Normalhorizont zu beziehen und einzuschreiben.

i) Um den Uebergang der Bahnlinie von einem Blatte zum anderen deutlich zu erkennen und zu beurtheilen, sind am Anfange und Ende jedes Blattes mindestens *100 Meter* lange Strecken des folgenden, resp. des vorhergehenden Blattes, jedoch nur in einfachen Linien, mit darzustellen.

k) Sämmtliche Pläne sind in der rechten oberen Ecke mit einer fortlaufenden Blattnummer zu versehen.

(§. 6 bis 7. Objekte, Oberbau, Bahnhöfe.)

§. 8. Alle Pläne und Zeichnungen sind im Formate „halber Whatmann" anzufertigen und, wo es erforderlich ist, klappenartig aneinander zu kleben.

§. 9. In dem Erläuterungsberichte ist der Zweck der Bahn, die Beschaffenheit des Terrains und die hiernach ermittelte Richtung darzulegen; auch sind die Neigungs- und Krümmungsverhältnisse zu erörtern. Demnächst ist die Anordnung und Konstruktion der entworfenen Bauwerke nach den Titeln des Ueberschlages (§. 2) vollständig zu erläutern. Alle örtlichen Verhältnisse, die auf den Bahnbau von Einfluss sein werden, sowie die Zeit, in der man den Bau zu vollenden beabsichtigt, müssen gleichfalls aufgeführt werden.

§. 10. Die generellen Vorarbeiten, auf deren Grund die Koncession ertheilt ist, sind den speciellen Vorarbeiten beizufügen.

Verordnung des k. k. österreichischen Handelsministeriums vom 4. Februar 1871, betreffend die Verfassung und Vorlage der auf den Eisenbahnbau bezüglichen Projekte.

A. Generalprojekte.

§. 1. Die Bewilligung zur Vornahme technischer Vorarbeiten für Eisenbahnen wird künftig nur auf drei Monate ertheilt und über diesen Termin hinaus nur unter der Bedingung verlängert, dass folgende Behelfe dem Handelsministerium noch vor Ablauf der besagten Frist vorgelegt und von demselben als befriedigend erkannt werden, nämlich: 1. Eine Generalkarte des militär-geographischen Institutes, im Maassstabe von $^1/_{288000}$, mit der annäherungsweisen Angabe der angestrebten neuen Bahn und der dieselbe umschliessenden, im Betriebe oder im Baue befindlichen oder sonst koncessionirten Linien. 2. Eine Skizze des Längenprofiles in demselben Längen- und 20fachen Höhenmaassstabe, mit Angabe der Meereshöhe der überschrittenen Wasserscheiden und der dazwischenliegenden Thalgründe, der beabsichtigten Steigungen und Gefälle und der dadurch bedingten Haupttunnels und Viadukte. (3. und 4. Baukosten, Einnahmen, Erläuterungsbericht.)

§. 2. Die behufs Erwirkung der Koncession auf Grund des §. 5 des Eisenbahn-Koncessionsgesetzes vom 14. September 1854 von den Bittwerbern vorzulegenden Projektsstücke, falls letztere nicht von Staatswegen verfasst wurden, sind: 1. Eine Generalkarte, wie im §. 1, aber mit genauer Angabe der beabsichtigten Linie. 2. Eine topografische Detailkarte im Maassstabe von $^1/_{28800}$. 3. Ein Situationsplan im Maassstabe von $^1/_{2880}$ oder von $^1/_{2000}$ (in flachen Gegenden auch von $^1/_{5000}$), mit Schichtenkurven oder wenigstens mit Angabe einer hinreichenden Zahl von Höhenkoten rechts und links von der Bahn. Wo letztere im Abtrage ist, wird die Bahnaxe gelb, und wo im Auftrage, roth ausgezogen. Auch sind die Tunnels, Viadukte, Brücken, Durchlässe, Wegübergänge und Verlegungen wenigstens annäherungsweise einzuzeichnen. 4. Ein General-Längenprofil im Maassstabe von $^1/_{100000}$ für die Längen und $^1/_{1000}$ für die Höhen. 5. Ein Special-Längenprofil im Maassstabe von $^1/_{10000}$ für die Längen und $^1/_{1000}$ für die Höhen. 6. Eine Sammlung von Querprofilen (etwa 6 bis 20 auf die Meile) im Maassstabe von $^1/_{200}$ oder auch $^1/_{288}$, bezüglich derjenigen Punkte der Bahn, wo die Dammböschungen steiler als $1^1/_2$füssig werden sollen, wo die Berglehnen sehr abschüssig sind, wo Fluss- und Strassenverlegungen vorkommen, oder wo überhaupt die Führung der Bahn auf besondere Schwierigkeiten stösst. (7. Kostenvoranschlag.) 8. Ein technischer Bericht zur Begründung und Erläuterung der ganzen Vorlage, insbesondere der gewählten Uebergangspunkte über die Wasserscheiden, der geologischen Bodenbeschaffenheit, der angenommenen Neigungen und Minimalradien, der zu Grunde gelegten Normalien, der unvermeidlichen grossen Kunstbauten, der Zahl und Lage der Bahnhöfe

und Stationen u. s. w. Die Entfernungen der Stationen, die Richtungs- und Steigungsverhältnisse der Bahn, die Zahl und Dimensionen der Kunstbauten müssen überdies in tabellarischen Beilagen beziffert werden. Die Varianten, falls noch welche in Frage stehen, die nicht bei der ersten Vorlage (§. 1) erledigt wurden, sind in Parallele zu bringen und ihre betreffenden Vorzüge und Nachtheile hervorzuheben.

(§. 3 und 4. Amtshandlung.)

(B. Bahnhöfe und Stationen. §. 5 und 6.)

C. Detailprojekt.

§. 7. Erst nach Feststellung der Stationen werden die Detailprojekte ausgearbeitet, die Sondirungen vorgenommen, die Linie ausgesteckt und zur politischen Begehung geschritten. Zu diesem Zwecke sind dem Handelsministerium folgende Behelfe vorzulegen: 1. Die richtiggestellte topografische Detailkarte (§. 2. Punkt 2). 2. Ein vollständig ausgearbeiteter Situationsplan (im Maassstabe von wenigstens $^1/_{2880}$) mit den Stationen und Wächterhäusern, den Böschungen, den Weg- und Flussverlegungen, den Unter- und Ueberfahrten, sowie den Niveau-Uebergängen und den Kunstbauten im Allgemeinen, mit Angabe ihrer Oeffnungen u. s. w.; dann mit Angabe der Katastralnummern der von der Bahn berührten Grundparzellen. 3. Ein Detail-Längenprofil im Maassstabe von $^1/_{2000}$ (oder auch $^1/_{2880}$) für die Längen und $^1/_{200}$ (oder auch $^1/_{288}$) für die Höhen. 4. Eine Sammlung der wichtigeren Querprofile mit Angabe der Sondirungsresultate. 5. Die Längen- und Normalquerprofile aller wesentlich verlegten Wege und Wasserläufe. 6. Die Normalgrundrisse der Aufnahmsgebäude. 7. Tabellen der Richtungs- und Neigungsverhältnisse, der Kunstbauten, der Wege und Wasserläufe. 8. Ein Verzeichniss der in der Bahntrasse oder im feuergefährlichen Rayon der Bahn befindlichen Gebäude.

(§. 8 bis 11. Amtshandlung.)

D. Projekte für Schleppbahnen.

§. 12. Für Schleppbahnen, d. h. kürzere Bergwerks- oder Industriebahnen ohne Personentransport, fällt die technisch-militärische Revision und die Festsetzung der Stationen aus. Die behufs der Baubewilligung und der politischen Begehung vorzulegenden Stücke sind: 1. Eine Specialkarte im Maassstabe von $^1/_{144000}$ mit Angabe der neuangestrebten Bahn sowohl, als der dieselbe umschliessenden, im Betriebe oder im Baue befindlichen oder sonst bereits koncessionirten Linien. 2. Die im §. 7, Punkt 2 bis 5, angegebenen Behelfe. 3. Bei Bahnen von mehr als $^3/_4$ Meile Länge ein Uebersichtsprofil (§. 2, Punkt 4 oder 5). (4. Technischer Bericht.) (§. 13. Technische Bestimmungen hinsichtlich der Einmündung und der Weichen.)

(E. Projektsänderungen. §. 14.)

(F. Vorlagen während des Baues und bei Vollendung der Bahn. §. 15 bis 18.)

G. Allgemeine Bestimmungen.

§. 19. Die Pläne jeder zu gleichzeitiger Eröffnung bestimmten Bahnstrecke sind nicht stückweise, sondern für die ganze Ausdehnung dieser Bahnstrecke zugleich einzureichen, es wäre denn, dass besondere Ausnahmsgründe geltend zu machen wären.

§. 20. Alle eingereichten Projekte sollen von einem technischen Berichte begleitet sein, der die vorgeschlagenen Anordnungen erläutert und begründet.

§. 21. Die vorzulegenden Zeichnungen und Schriftstücke sind im Formate von 21 zu 34 Centimeter zusammengefaltet und mit entsprechender Ueberschrift versehen, einzureichen.

§. 22. Alle diejenigen Vorlagen, welche die Verfasser mit der Genehmigung

der Regierung zurückzubekommen wünschen, müssen in doppelter Ausführung gemacht werden.

§. 23. Der in Anwendung gebrachte Verjüngungsmaassstab muss auf jeder Zeichnung eingeschrieben sein.

§. 24. Auf den Längenprofilen sollen die sogenannten Stationsnummern ausfallen und durch die Distanzen vom Anfangspunkte der Linie ersetzt werden. Die Längeneintheilung dieser Profile in Meilen oder Kilometer, in Viertel- oder Zehntelmeilen u. s. w. muss auf den Karten und Plänen derart wiederholt sein, dass die Identität der Punkte des Planes und Profiles nicht zweifelhaft sein kann. Auf den Profilen sind auch die Entfernungen der Bahnhöfe und Stationen (von der Mitte des Aufnahmsgebäudes gemessen) und die Höhe der Vergleichungsebene über dem Meere bei jedem Absatze einzuschreiben. Auf den Detail-Längenprofilen sind alle Ueberfahrten, Kunstbauten, Stützmauern u. s. w., auf den General-Längenprofilen wenigstens die Hauptbauwerke (Tunnels, Viadukte, Brücken) einzuzeichnen.

§. 25. Die Nieder- und Hochwässer sind sowohl auf den Längenprofilen als auf den Detailprojekten der Brücken und Durchlässe anzugeben. Bei grösseren Flüssen sind auch die Grenzen des Ueberschwemmungsgebietes auf den Karten und Situationsplänen einzuzeichnen. Bei Gebirgsbahnen, die sich an Lehnen erheben, ist es auch wünschenswerth, nach Umständen nothwendig, die Thalsohle wenigstens annähernd auf den Uebersichtsprofilen (§. 1, Punkt 2, und §. 2, Punkt 4) einzuzeichnen.

IV. Kapitel.

Flächenberechnung.

§. 39. Berechnung der Böschungsflächen. Zur Berechnung der Kosten der Planirungs- und Berasungsarbeiten ist die Kenntniss des Flächeninhaltes der Böschungen nöthig. Die hierzu nöthigen Breiten derselben misst man in den Querprofilen mit dem Zirkel ab. Bei flachem Terrain bestimmt man auch wohl die Böschungsbreiten durch Rechnung oder aus einer Tabelle direkt aus den Auf- und Abtragskoten. Meist wird es genügen, die Fläche zwischen je zwei Profilen durch Multiplikation des arithmetischen Mittels mit dem Abstande der Profile zu bestimmen. An den Stellen, wo Auftrag in Abtrag übergeht, entstehen Dreiecke; die zur Berechnung nöthige Länge derselben kann man aus dem Grundrisse entnehmen.

In stark gekrümmten Strecken ist die in der Planieaxe gemessene Länge noch mit $1 \pm \frac{e}{r}$ zu multipliciren, wenn r den Radius und e den mittleren Horizontalabstand der betreffenden Böschungsfläche von der Axe bezeichnet.

Die Oberflächen der Erd- und Steinkegel, welche den Anschluss der

Böschungen an Objekte vermitteln, sind besonders zu berechnen. Die Oberfläche eines Viertelkegels mit kreisförmiger Basis mit dem Radius r und Höhe h ist

$$1. \quad O = \frac{\pi}{4} r \sqrt{r^2 + h^2} = \frac{\pi}{4} m h^2 \sqrt{1 + m^2},$$

wenn $r = mh$ ist. Für alle anderen Fälle lassen sich einfache Formeln nicht aufstellen, so dass eine genaue Bestimmung der Fläche durch Abwickelung der Mantelfläche nach den Regeln der darstellenden Geometrie erfolgen müsste. Für einzelne Fälle eines elliptischen Kegels bei ebenem, aber geneigtem Terrain, ergeben sich folgende Werthe für c wenn man $O = ch^2$ setzt, wobei h die Höhe des Kegels vom Terrain bis zur Spitze, m und m_1 das Böschungsverhältniss im Anschlusse an die Dammböschung und Stirnmauer, α und β den Neigungswinkel einer Terrainlinie, welche im Grundrisse senkrecht und parallel zur Bahnaxe liegt, bezeichnet.

	$\tan \beta =$	$\tan \alpha = 0$	$\tan \alpha = 0{,}2$	$\tan \alpha = 0{,}4$
$m = 1{,}5$, $m_1 = 0{,}5$	0	1,03	1,55	3,11
	0,2	1,19	1,86	3,78
	0,4	1,42	2,23	4,73
$m = 1{,}5$, $m_1 = 1{,}0$	0	1,57	2,08	3,09
	0,2	2,42	3,38	5,17
	0,4	5,02	7,48	13,39
$m = 1{,}5$, $m_1 = 1{,}5$	0	2,12	3,32	7,12
	0,2	3,32	5,60	13,57
	0,4	7,12	13,75	51,77
$m = 1{,}0$, $m_1 = 0{,}5$	0	0,73	0,95	1,36
	0,2	0,84	1,10	1,60
	0,4	0,98	1,30	1,93
$m = 1{,}0$, $m_1 = 1{,}0$	0	1,11	1,44	2,15
	0,2	1,44	1,96	2,90
	0,4	2,15	2,90	3,62
$m = 0{,}5$, $m_1 = 0{,}5$	0	0,43	0,50	0,58
	0,2	0,50	0,57	0,66
	0,4	0,58	0,66	0,78

Auf die Berechnung der Oberfläche besonderer Körperformen, wie Wächterhausbanketts, Rampen u. s. w., die keine Schwierigkeit bieten, wollen wir hier nicht näher eingehen.

Böschungsflächen - Tabelle.

a. Planirung der Erdböschungen im Auftrage.

Bezeichnung	Linke Seite					Rechte Seite					Bemerkungen
	Punkt	Länge	Breite	Fläche	Summe	Punkt	Länge	Breite	Fläche	Summe	
Damm am Grasbach	a	29,5	5,40	203,1		a	35,1	7,13	266,2		
	45 + 46,5	—	8,37	16,1		54 + 52,1	—	8,04	17,8		Oberfl. d. Erdkegel = 16,1 und 17,8
		19,0	2,40	45,6	45,6		15,3	2,40	36,7	36,7	Durchlass N. V.
	54 + 65,2	—	8,43	17,0							Oberfl. des Erdkegels = 17,0
	BE	20,5	7,80	166,4	332,2						Rechts Steindamm
	55	14,3	7,52	109,5							
	55 + 3,0	3,0	7,03	21,8							Oberfl. des Erdkegels = 17,5
	55 + 13,0	—		17,5		55 + 13,8					Wegüberbrückung N. VI.
	55 + 24,1	—	6,93	17,0		55 + 36,2	—	8,04	18,7		Oberfl. d. Erdkegel = 17,0 u. 18,7
	d	23,1	6,02	149,6		d	11,0	8,03	88,4		
	56	52,8	2,88	235,0	475,1	56	52,8	4,65	334,8	688,3	
	b	8,9	2,38	23,4		b	8,0	4,41	40,3		
	56 + 51,0	42,1	0	50,1		c	52,1	2,72	185,7		
						56 + 76,0	15,0	0	20,4		

Nach dem speciellen Zwecke der Flächenbestimmung müssen verschiedene Kategorien unterschieden werden, z. B. zu planirende Fläche im Auftrage, im Erdeinschnitte, im Felseneinschnitte, zu berasende Fläche im Auftrage und im Abtrage, mit Pflaster zu versehende Fläche u. s. w. Man kann entweder für jede Kategorie eine besondere Tabelle anlegen oder nach Befinden mehrere Kategorien vereinigen. Das erstere zeigt das auf voriger Seite 45 befindliche Schema.

Die Berechnung der einzulösenden Flächen des Grund und Bodens wird im Kapitel über „Grundeinlösung" besprochen.

§. 40. Flächenbestimmung der Querprofile im Allgemeinen. Zur Berechnung des Volumens des Auf- und Abtrags ist zunächst die Bestimmung des Flächeninhaltes sämmtlicher Querprofile erforderlich. Hierbei können mehrere Verfahren angewendet werden, nämlich 1) die reine Berechnung, 2) die Berechnung mit Anwendung der geometrischen Konstruktion, 3) die reine geometrische Konstruktion, 4) die Anwendung von Zahlentabellen, 5) die Anwendung von grafischen Tabellen und 6) die Anwendung des Planimeters.

Die Anwendung des Planimeters setzen wir als bekannt voraus und bemerken nur, dass im vorliegenden Falle wohl der Amsler'sche Polarplanimeter am geeignetsten ist. Mehrfach verwendet man den Planimeter nur zur Kontrole der Berechnung; indess genügt es vollkommen, den Planimeter allein anzuwenden, wenn man ihn mit möglichster Genauigkeit einstellt und mit Sorgfalt behandelt. Obwohl man bei einfachen Profilen die Fläche mit Hülfe von Tabellen schneller bestimmen kann als mit dem Planimeter, so bleibt doch der letztere für komplicirtere Profile das geeignetste Mittel.

§. 41. Das trapezförmige Profil.

a. Berechnung. Bezeichnen wir die Planiebreite mit b, die Höhe mit h, das Böschungsverhältniss (Breite der Böschung dividirt durch die Höhe derselben) mit m, so ist die untere Breite $b + 2mh$, also die mittlere Breite $\frac{1}{2}(b + b + 2mh) = b + mh$, folglich der Flächeninhalt

$$2. \quad \boldsymbol{F = (b + mh)\,h}.$$

b. Tabellen. Es bestehen eine Menge von Tabellen, welche das Resultat dieser Formel für ein variables h darstellen. Dabei ist eine gewisse Planiebreite b für den Auftrag und für den Abtrag angenommen, höchstens werden noch ein- und zweigleisige Bahnen unterschieden. Ebenso ist nur ein oder es sind wenige verschiedene Böschungsverhältnisse vorausgesetzt. Wegen der angenommenen Planiebreite sind diese Tabellen zu wenig allgemein, namentlich in verschiedenen Ländern, so dass man bei Anlage einer grösseren Eisenbahn die Tabelle oft wird

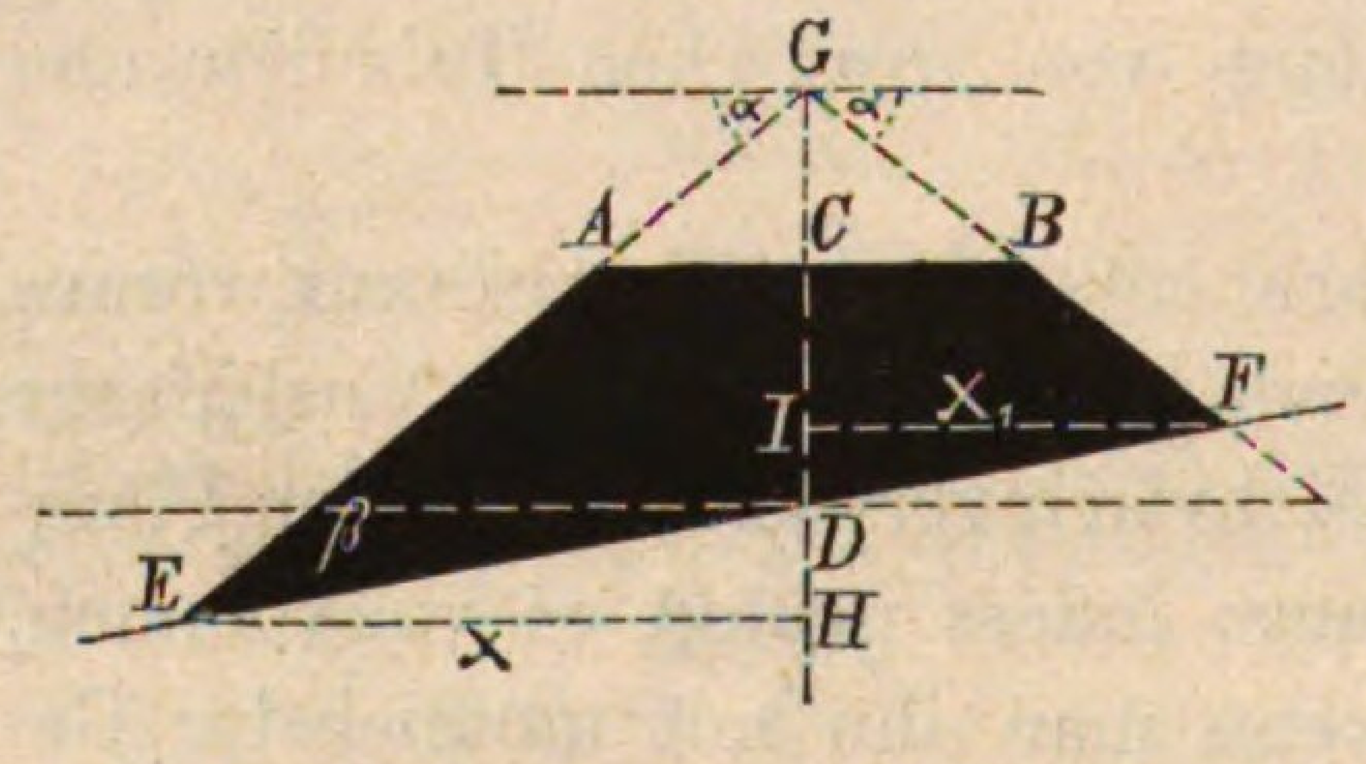
neu berechnen müssen. Es genügt, die Differenz der auf einander folgenden Höhen zu *0,01 Meter* anzunehmen.

Bei den für Vorprojekte bestimmten Tafeln von Kökert schreiten die Höhen von *0,1* zu *0,1 Meter* fort; jedoch sind noch die zur Interpolation nöthigen Differenzen angegeben. Diese Tabellen beziehen sich auf eingleisige Bahnen mit *4,0* und *4,4 Meter* Planiebreite und auf folgende Böschungsverhältnisse: für Dämme $1\frac{1}{2}$- und 1-füssig, Einschnitte $1\frac{1}{2}$-, 1-, $\frac{3}{4}$-, $\frac{1}{2}$-, $\frac{1}{3}$- und $\frac{1}{6}$-füssig.

§. 42. Das trapezoidische Profil.

1. Berechnung. Wir bezeichnen wie vorhin die Planiebreite AB (Fig. 42) mit b, die Höhe CD in der Mitte der Planie mit h, den Böschungswinkel mit α und den Neigungswinkel des Terrains mit β. Fällen wir von E auf die Verlängerung von CD eine Senkrechte EH und setzen $EH = x$, $DH = y$, $GC = h_0$, so ist $x = (h + h_0 + y) \cot \alpha$, $x = y \cot \beta$. Die Elimination von y gibt $x = (h + h_0 + x \tan \beta) \cot \alpha$, also

Fig. 42.



$$x = \frac{(h + h_0) \cot \alpha}{1 - \cot \alpha \tan \beta}.$$

Fällen wir von F auf CD eine Senkrechte $FJ = x_1$, so wird ebenso

$$x_1 = \frac{(h + h_0) \cot \alpha}{1 + \cot \alpha \tan \beta}.$$

Der gesuchte Flächeninhalt F ist nun:

$$F = \tfrac{1}{2} (h + h_0) (x + x_1) - \tfrac{1}{2} b h_0.$$

Nun aber wird $x + x_1 = \dfrac{2 (h + h_0) \cot \alpha}{1 - \cot^2 \alpha \tan^2 \beta}$. Setzen wir ausserdem $h_0 = \frac{1}{2} b \tan \alpha$, $\cot \alpha = m$, $\tan \beta = n$, so wird nach gehöriger Reduktion

$$3. \quad \boldsymbol{F = \frac{(b + mh)\, h + \frac{1}{4} mn^2 b^2}{1 - m^2 n^2}}.$$

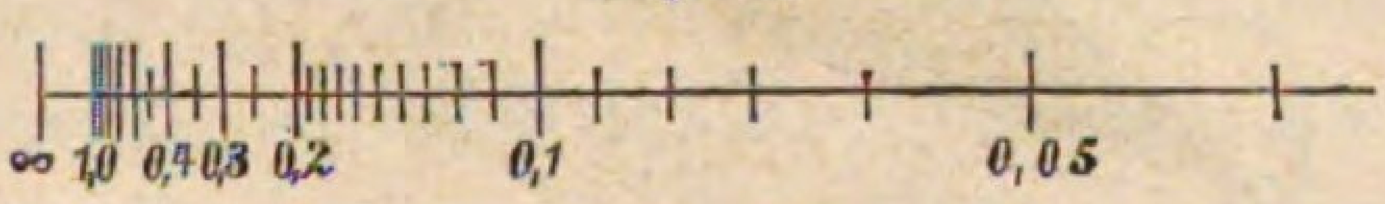
Man sieht, dass n nur in der zweiten Potenz vorkommt, die bei geringen Neigungen des Terrains sehr klein ist, so dass hier der Flächeninhalt von dem eines Trapezes mit derselben Höhe h nur wenig abweichen wird.

Die Formel 3 gilt natürlich nur dann, wenn in Fig. 42 der Punkt F unter dem Punkte B liegt, oder wenn $h > \frac{1}{2} b \tan \beta$ ist. Ist $h < \frac{1}{2} b \tan \beta$, so ist das Profil ein Anschnittsprofil und nach §. 45 zu behandeln.

Die Neigung des Terrains bestimmt man, wenn das Profil gezeichnet vorliegt, nach Plessner am besten mit Hülfe einer Platte von Horn oder Glas, in welcher die verschiedenen Neigungen eingerissen sind. Man erhält hierdurch zugleich die Möglichkeit, bei gebrochener oder krummliniger Terrainlinie für dieselbe eine ausgleichende Gerade substituiren

zu können. Wir ziehen es vor; mit Hülfe eines Glaslineales einer auf Pauspapier gezogenen Geraden oder mittels geometrischer Verwandlung eine ausgleichende Gerade zu ziehen und deren Neigung durch eine Art Transporteur, welcher die Tangente n des Neigungswinkels direkt angibt oder durch Messen der Höhe für die horizontale Länge 1 mit Hülfe des Zirkels zu bestimmen. Wenn das Profil nicht gezeichnet vorliegt, sondern der Flächeninhalt nur aus dem Längenprofil und Situationsplane zu bestimmen ist, so kann man die Neigung leicht aus dem Abstande der Schichtenlinien berechnen oder direkt mit Hülfe eines Maassstabes (Fig. 43) bestimmen.

Fig. 43.



b. Zahlentabellen. Will man die Tabellen möglichst allgemein halten, so wird man nur die Koefficienten $A = \frac{1}{1 - m^2 n^2}$, $B = \frac{1}{1 - m^2 n^2}$, $C = \frac{mn^2}{4(1 - m^2 n^2)}$ tabellarisch zusammenstellen, so dass

$$4.\quad F = Abh + Bh^2 + Cb^2$$

wird. Es wird alsdann natürlich die Rechnung nicht vollkommen beseitigt. Eine solche Tabelle wird z. B. von Henz (Praktische Anleitung zum Erdbau, 1856) mitgetheilt. Hat man eine Tabelle für das trapezförmige Profil, so kann man durch dieselbe die Rechnung erleichtern; bezeichnet man nämlich den Flächeninhalt des trapezförmigen Profiles bei gleicher Höhe h mit F_0, so wird nach 4.:

$$5.\quad F = AF_0 + Bb^2.$$

Ganz lässt sich die Rechnung nur beseitigen, wenn man F für ein variables h und ein variables n berechnet, wodurch die Tabelle allerdings, da einige verschiedene Böschungsverhältnisse anzunehmen sind, etwas voluminös wird. In Betreff der Planiebreite kann die Tabelle allgemein gehalten werden, indem man in der Tabelle nur den Flächeninhalt des Dreiecks GEF angibt und beim Gebrauche den konstanten Flächeninhalt des Dreiecks GAB in Abzug bringt. Der Flächeninhalt des Dreiecks GEF ist nach a.:

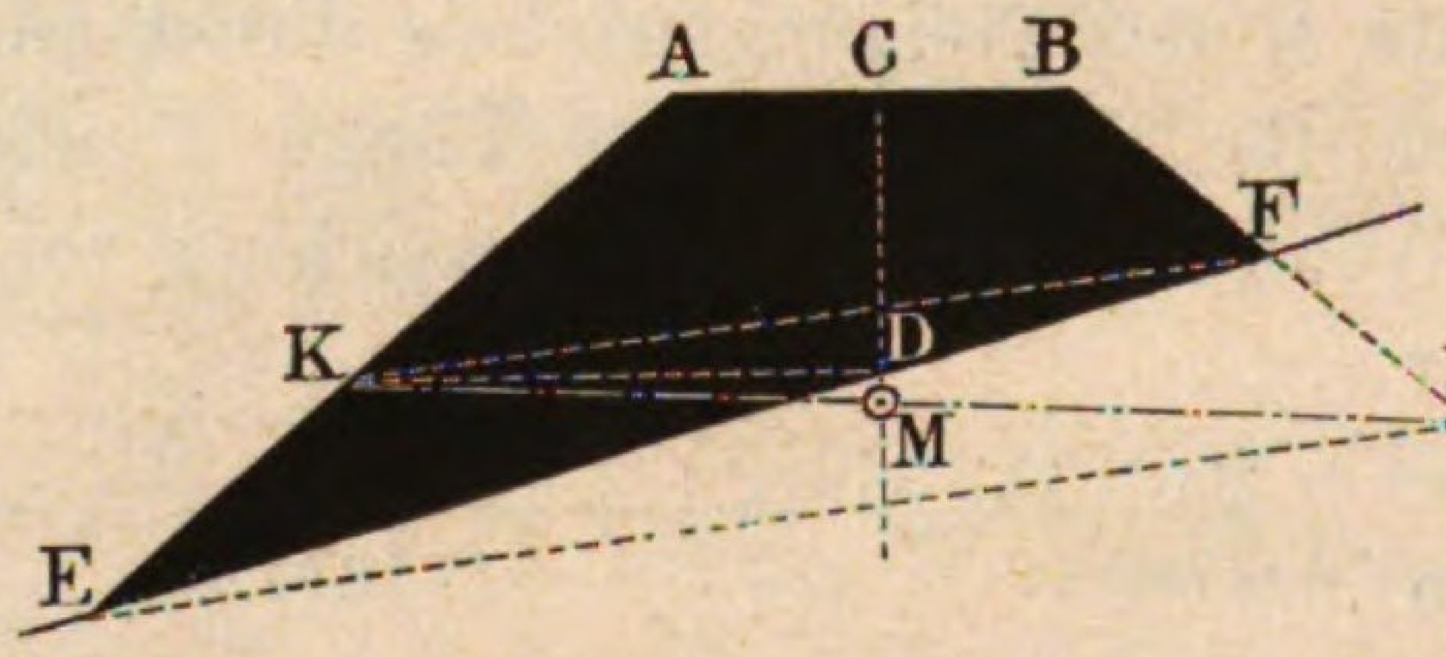
$$6.\quad F = \frac{(h + h_0)^2 m}{1 - m^2 n^2},$$

wonach die Tabelle leicht zu berechnen ist.

c. Geometrische Verwandlung in ein Trapez. Denkt man sich das Trapezoid $ABFE$ (Fig. 44) in ein Trapez verwandelt, so wird die Horizontale KL ziemlich genau durch den unteren Punkt D der Höhe CD gehen, weil nach dem Vorigen ein Trapez mit der Höhe CD fast denselben Flächeninhalt hat, als das gegebene Trapezoid.

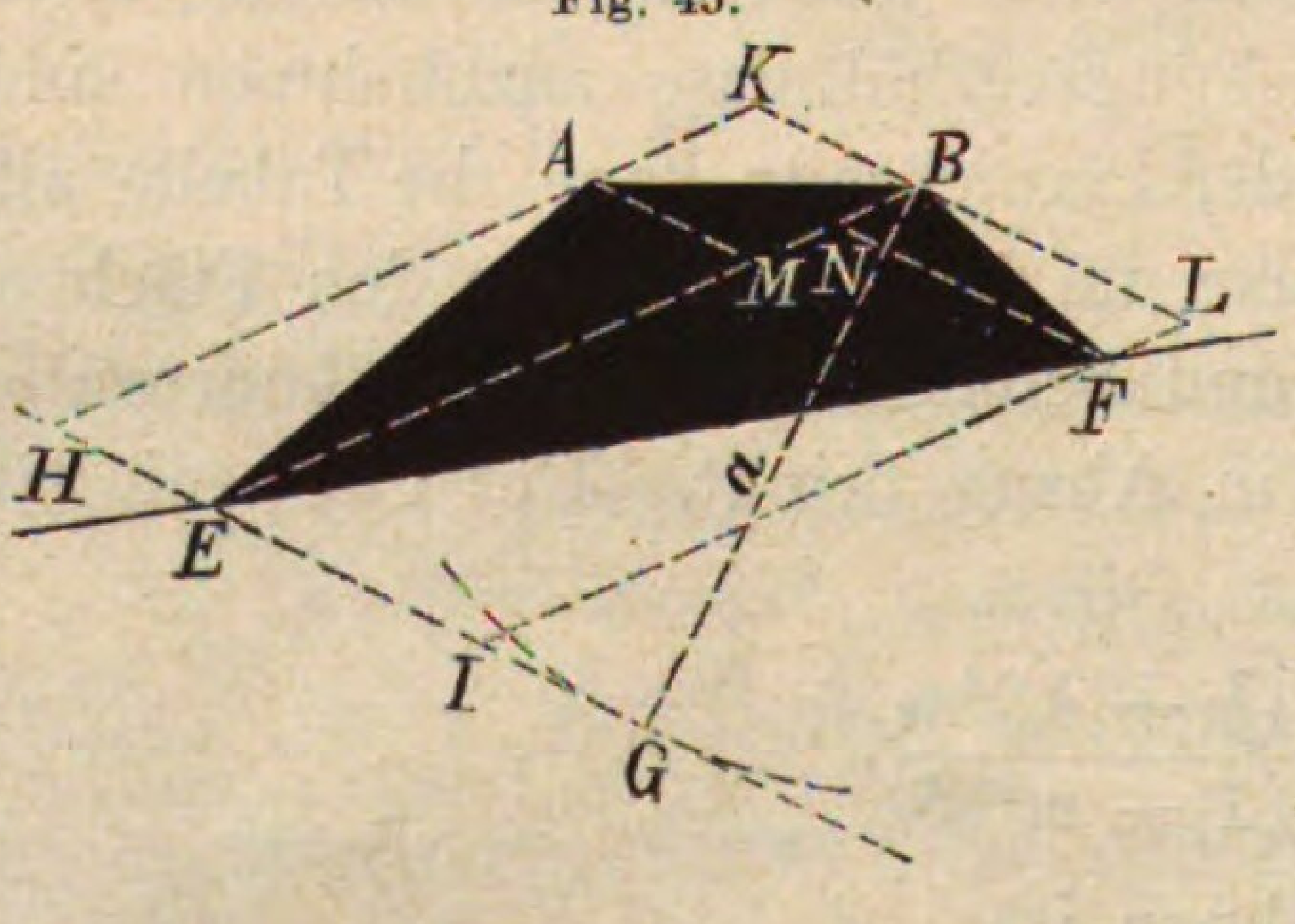
Hieraus folgt nachstehende Näherungskonstruktion. Man ziehe durch D eine Horizontale, welche AE in K schneidet, verbinde K mit F, ziehe zu KF durch E eine Parallele, welche die Verlängerung von BF in L schneidet und ziehe KL, so ist $\Delta EKL = \Delta EFL$, folglich $ABLK = ABFE$. Die Gerade KL ist zwar nicht genau horizontal, weil sie nicht genau durch D gehen wird, aber doch sehr nahe. Sollte KL noch zu viel von der horizontalen Lage abweichen, so könnte man die Konstruktion noch einmal wiederholen, was indess nur bei sehr steilem Terrain nöthig sein wird. Selbstverständlich ist es nicht nöthig, die Linien DK, FK, EL und KL wirklich zu ziehen, sondern es sind nur die Anschnitte bei K, L und der Durchschnitt M von KL mit CD nöthig. Den Flächeninhalt von $ABLK$ kann man entweder nach 1. berechnen, wobei die Höhe $h = CM$ anzunehmen ist, oder mit Hülfe der für trapezförmige Querschnitte gültigen Tabelle bestimmen. Jedenfalls ist dieses Verfahren seiner grossen Einfachheit wegen sehr zu empfehlen. Es liesse sich zwar eine streng richtige geometrische Verwandlung des Trapezoides in ein Trapez angeben; jedoch wird diese bei Weitem nicht so einfach, als das hier gezeigte vollkommen genügende Verfahren.

Fig. 44.



d. Geometrische Konstruktion. Es ist leicht möglich, das gegebene Viereck in ein Rechteck zu verwandeln, von dem die eine Seite angenommen ist, so dass alsdann die andere Seite den Flächeninhalt darstellt, wenn man die erste $= 1$ wählt. Wohl die einfachste der möglichen Konstruktionen (die aus der Geometrie bekannt sind) ist die folgende: Man schlage aus B (Fig. 45) mit dem angenommenen Radius a einen Kreisbogen, lege an denselben durch E eine Tangente EG und schneide dieselbe durch zwei durch A und F zur Diagonale BE gezogene Parallelen in H und J, so ist $F = \frac{1}{2} BG \,.\, HJ = \frac{1}{2} a \,.\, HJ$. Der Beweis ergibt sich sofort, wenn man zu HJ durch B, A, F die Parallelen KL, AM, FN zieht. Wählt man nun $a = 2$, so ist $F = HJ$. Besser wird man a so wählen, dass HJ ein bequem zu messendes und von den Dimensionen des Profils nicht zu sehr verschiedenes Maass erhält. Wählt

Fig. 45.

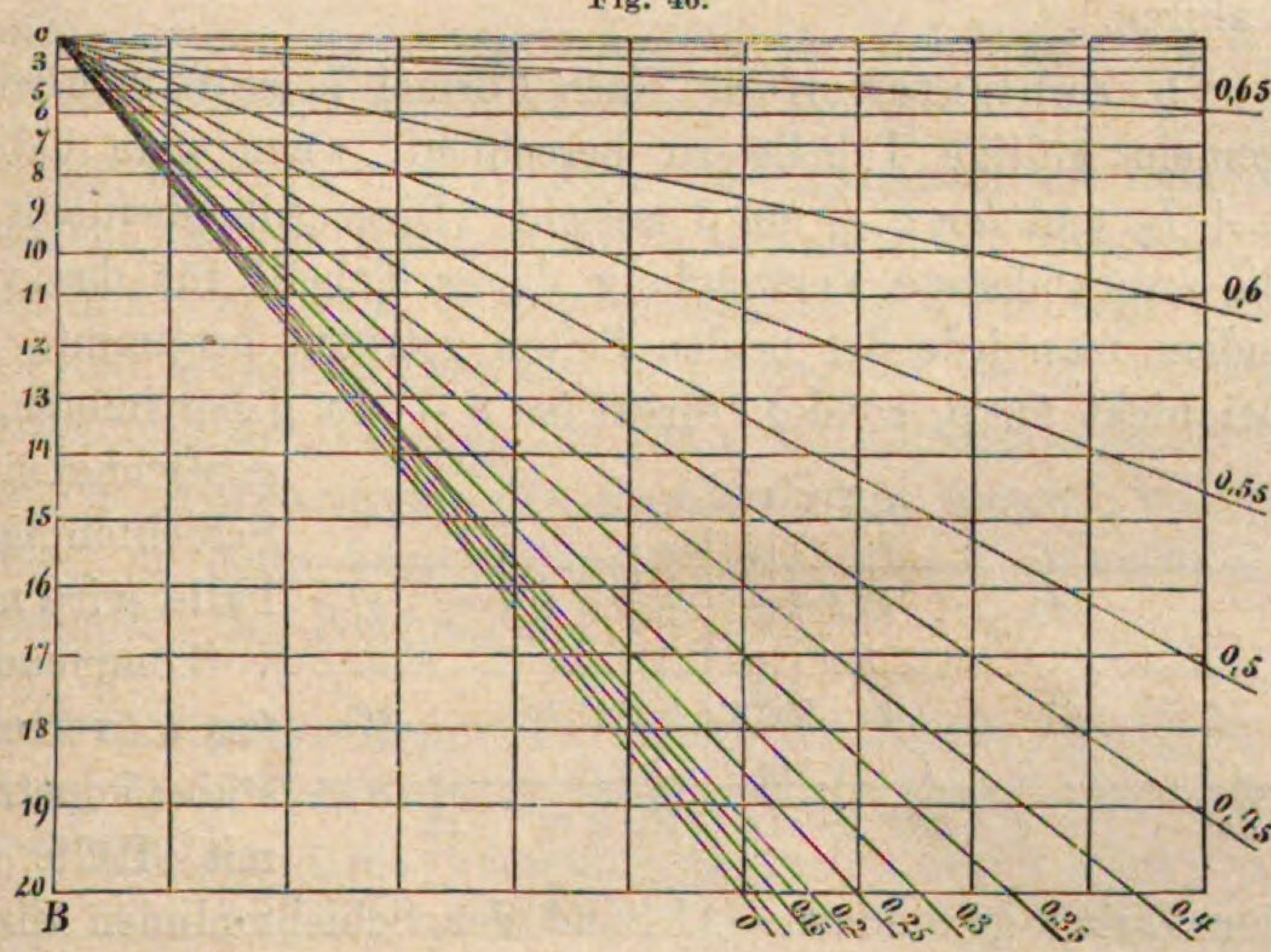


man a beliebig und bezeichnet die Einheit des anzuwendenden Maassstabes mit b, so muss $\frac{1}{2}\,ab = 1$, also $b = \frac{2}{a}$ sein; man kann hiernach für verschiedene hohe Profile 2 oder 3 verschiedene Maassstäbe konstruiren.

e. Anwendung grafischer Tafeln. Man trägt auf der vertikalen Axe die Höhen $GD = h + h_0$ (Fig. 42) als Abscissen und senkrecht hierzu die entsprechenden Flächen der Dreiecke GEF für verschiedene Neigungen des Terrains als Ordinaten auf. Man erreicht hierdurch den Vortheil, dass die Tafel in Beziehung auf die Planiebreite allgemein ist. Man kann alsdann aus dem der Tafel entnommenen Werthe den bei gegebener Planiebreite und gegebenem Böschungswinkel konstanten Flächeninhalt des Dreiecks GAB abziehen oder man kann in der Tafel den Koordinatenanfang in der Kurve für $\beta = 0$ oder $n = 0$ um h_0 tiefer rücken. Nach Formel 5. sind die Kurven Parabeln. Man kann nach dieser Formel die Ordinaten der Kurven berechnen oder man kann, was indess weniger zu rathen ist, die Ordinaten durch Konstruktion bestimmen, indem man das Dreieck GEF in ein anderes mit konstanter Höhe oder Grundlinie verwandelt.

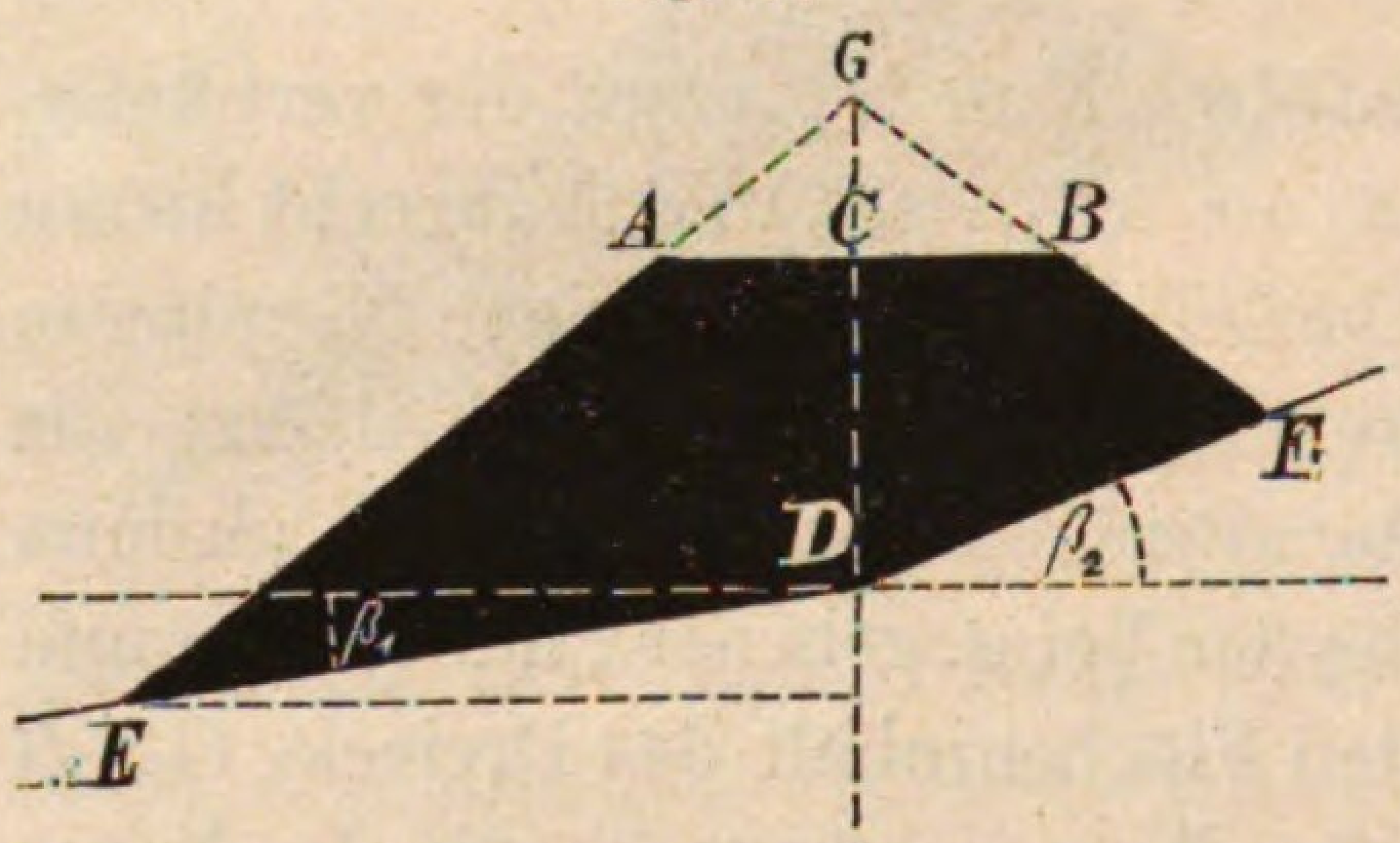
Genauer lässt sich die Konstruktion der Tafel durchführen, wenn man als Abscisse nicht die Höhe $h + h_0$, sondern das Quadrat derselben oder $(h + h_0)^2$ aufträgt, weil alsdann an die Stelle der Parabeln gerade Linien treten, wie Fig. 46 zeigt. Die Parabeltafel hat allerdings den Vortheil, dass sich hier die Höhe in die Tafel mit dem Zirkel übertragen lässt, während sie bei Tafeln mit geraden Linien immer in Zahlen ausgedrückt werden muss. Das erste ist indess kaum noch zulässig, wenn man die Tafel durch den Druck vervielfältigt, weil sich das Papier ziemlich stark verzieht. Bei der Uebertragung in Zahlen hat das Verziehen keinen Nachtheil, wenn man ein Liniennetz zum direkten Ablesen der Zahlen anwendet, wie in Fig. 46.

Fig. 46.



§. 43. Fünfeckiges Profil. Wir setzen jetzt voraus, dass das Terrain von zwei Geraden begrenzt werde, die von einem Punkte D (Fig. 47) der mittleren Vertikalen ausgehen. Genau genommen werden solche Profile nur zufällig auftreten können. Man kann aber regelmässig begrenzte Profile oft leichter nach dem Augenmaasse in fünfeckige, als in viereckige verwandeln.

Fig. 47.



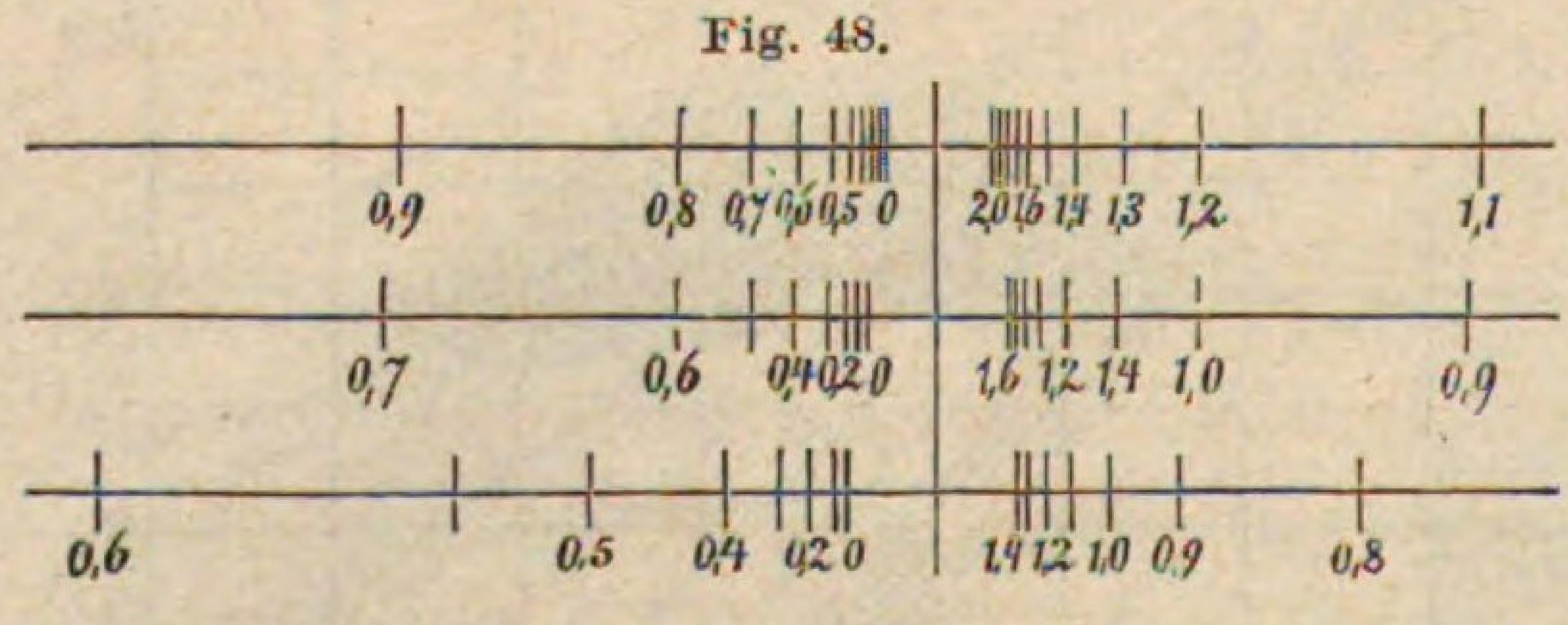
a. Berechnung. Der Flächeninhalt des Dreiecks GDE sei F_1, der Neigungswinkel von AE $= \alpha$, der von $DE = \beta_1$, die Höhe $CD = h$, die Ergänzungshöhe $CG = h_0$. Alsdann ist, wenn x dieselbe Bedeutung wie im vorigen §. behält, $F_1 = \frac{1}{2}(h + h_0)\,x$, d. i. nach Einsetzung des Ausdruckes für x

$$7. \quad F_1 = \frac{(h + h_0)^2}{2\,(tan\,\alpha - tan\,\beta_1)}.$$

Der Flächeninhalt F_2 des Dreiecks GDF ist nach derselben Regel zu berechnen, nur ist hier $+\,tan\,\beta_2$ für $-\,tan\,\beta_1$ zu setzen. Von der Summe beider Flächen ist der konstante Inhalt des Dreiecks AGB zu subtrahiren.

b. Zahlentabellen. Nach Formel 7. ist es möglich, eine ganz allgemein gültige Tabelle zu berechnen, wenn man dabei als Variable $h + h_0$ und $tan\,\alpha \mp tan\,\beta$ ansieht. Diese Allgemeinheit gestattet selbst die zweckmässige Verwendung dieser Tabelle für das viereckige Profil, indem man jede der beiden Seiten getrennt bestimmt. Man wird hierbei nicht $tan\,\beta$, sondern direkt $tan\,\alpha \mp tan\,\beta$ bestimmen, sei es aus dem gezeichneten Profile oder dem Schichtenplane. Im letzteren Falle wird man sich für die vorkommenden Werthe von $tan\,\alpha$ verschiedene Maassstäbe konstruiren (Fig. 48), mit Hülfe deren der in den Zirkel genommene Abstand der Schichtenlinien direkt den Werth $tan\,\alpha \pm tan\,\beta$ gibt.

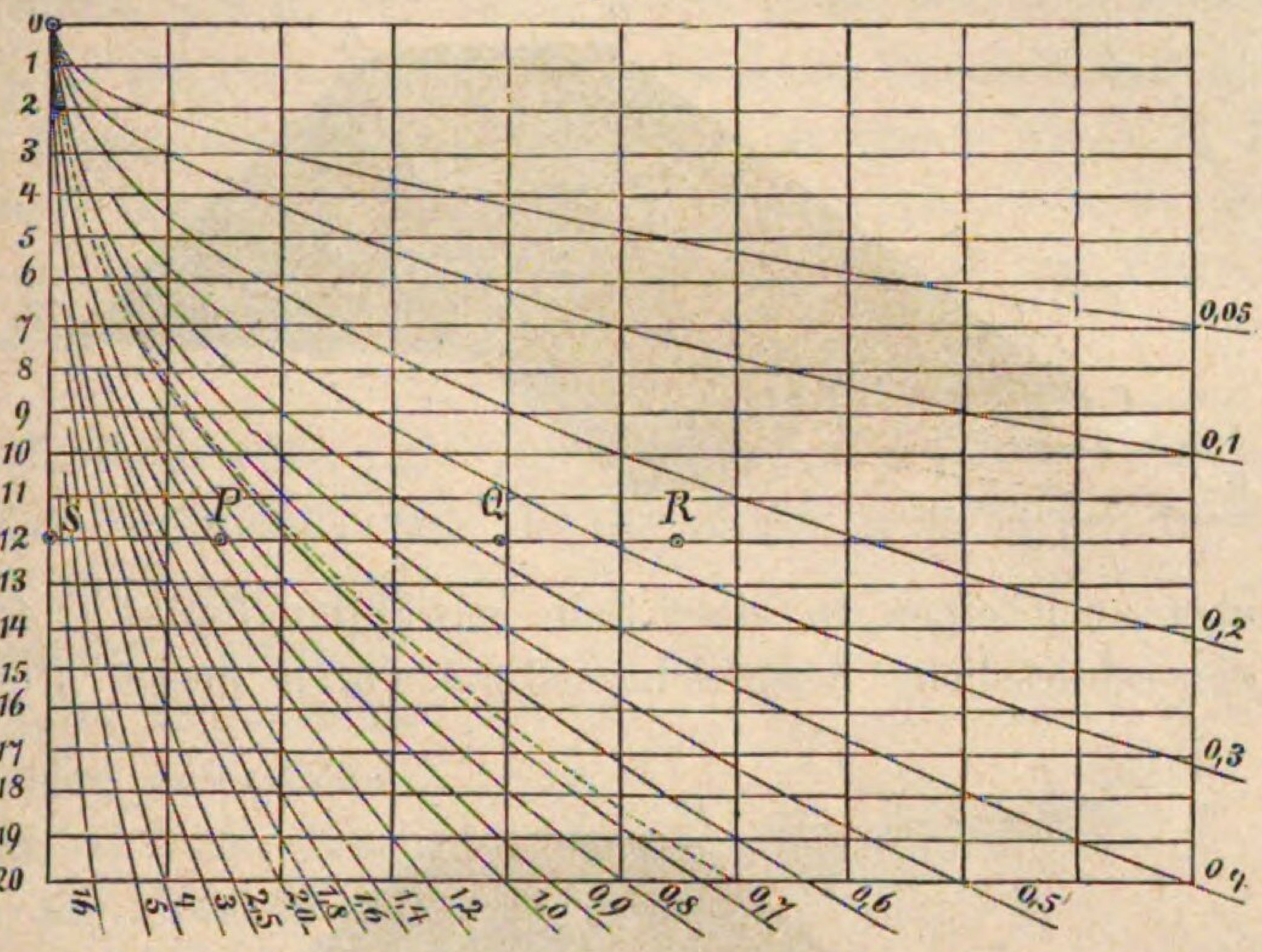
Fig. 48.



c. Grafische Tafeln. Dem eben Gesagten entsprechend lässt sich eine ganz allgemein verwendbare grafische Tafel konstruiren, indem man die Höhen $h + h_0$ als Abscissen, die zugehörigen Flächen als Ordinaten aufträgt (Fig. 49). Die Konstruktion einer solchen Tafel wurde zuerst von Kullmann in dessen grafischer Statik (1866) gezeigt. Die

Addition kann dabei durch Rechnung geschehen, nachdem man den Flächeninhalt für beide Theile aus der Tafel entnommen hat, oder mit dem Zirkel. Die Konstruktion dieser Tabelle kann dadurch geschehen, dass man nach Formel 7 für einzelne Werthe von $h + h_0$ die zugehörigen Werthe von F berechnet oder durch geometrische Reduktion der Dreiecke auf eine gemeinschaftliche Doppelbasis oder durch eine aus Rechnung und Konstruktion kombinirte Methode; auf ein näheres Eingehen verzichten wir. — Die von Kullmann angewendeten Parabeln lassen sich in der im vorigen §. gezeigten Weise durch Gerade ersetzen, indem man nicht $h + h_0$, sondern $(h + h_0)^2$ als Abscisse annimmt.

Fig. 49.



Wir würden der im vorigen §. gezeigten Konstruktion der Zahlen- und grafischen Tafeln, welche für bestimmte vorkommende Böschungsverhältnisse konstruirt sind, den Vorzug geben, da die Addition wegfällt. Wenn das Profil wirklich durch Zeichnung gegeben ist, so würden wir aber die Anwendung der Tabellen für das reine trapezförmige Profil und die geometrische Verwandlung des Profils in ein nahezu trapezförmiges empfehlen, da diese Verwandlung ebenso schnell auszuführen ist, als die Bestimmung der Neigung des Terrains.

§. 44. Profil mit gebrochener Terrainlinie. Bei diesen Profilen ist die Verwandlung in ein viereckiges Profil die geeignetste Methode. Bei gebrochenem Profile kann die Verwandlung genau durch eine einfache geometrische Konstruktion erfolgen (Fig. 50). Bekanntlich geschieht dies, indem man ein Dreieck abschneidet und dasselbe in ein anderes verwandelt, dessen eine Seite in die Verlängerung der anstossenden Seite des gegebenen Polygons fällt, wodurch man ein Polygon erhält, welches eine Seite weniger hat, und mit diesem Verfahren fortfährt, bis man ein Viereck erhält. Dabei wird man natürlich die die Planie und die beiden Böschungen bildenden Linien belassen, also nur die Terrainlinie gerade legen.

Die Reihenfolge bei den abzuschneidenden Dreiecken ist gleichgültig; jedoch ist es rathsam, eine bestimmte Ordnung zu befolgen, um sich weniger leicht zu irren. Man kann entweder eine Seite festhalten, wie z. B. in Fig. 50 die Seite BC festgehalten wurde, oder auch eine Ecke. Man kann aber auch einen in einer Seite gewählten Punkt O festhalten, so dass die schliessliche Ausgleichungslinie durch diesen Punkt gehen muss; dabei ist es rathsam, diesen Punkt O in der einen Böschung so zu wählen, dass die schliessliche Ausgleichungslinie Oh (Fig. 51) nahezu horizontal wird, so dass die in §. 42 gezeigte Verwandlung in ein Trapez vielleicht ganz entfallen kann, wenn man numerische oder grafische Tabellen für das Trapez zur Flächenbestimmung benützen will.

Fig. 50.

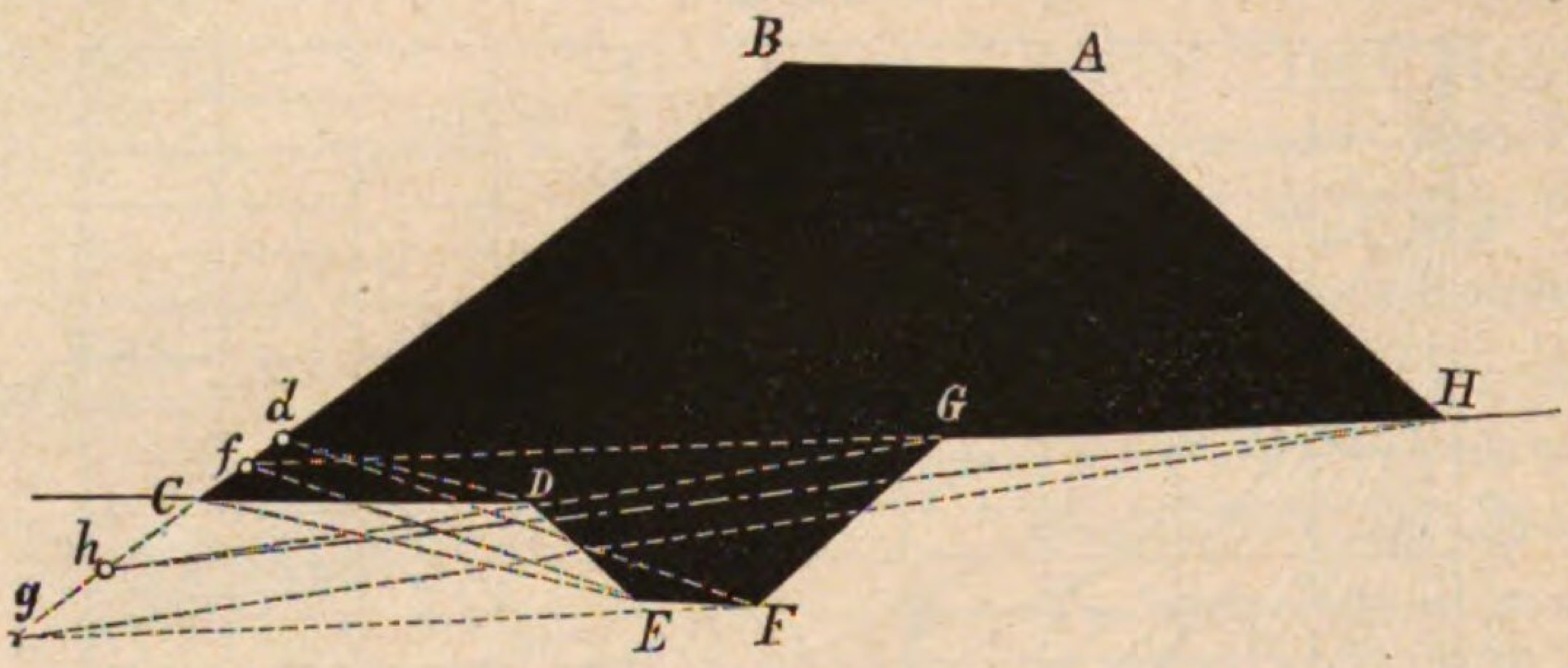
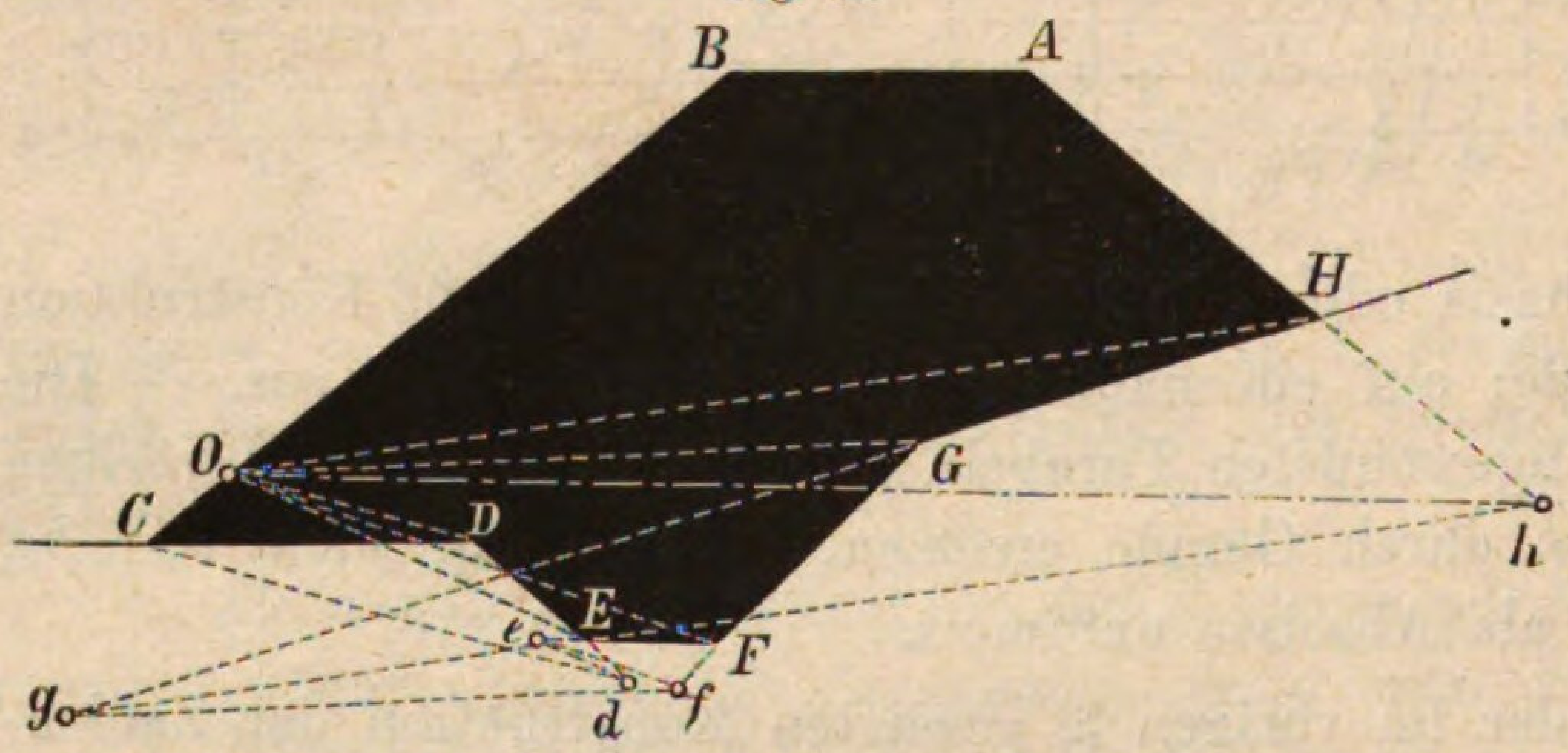


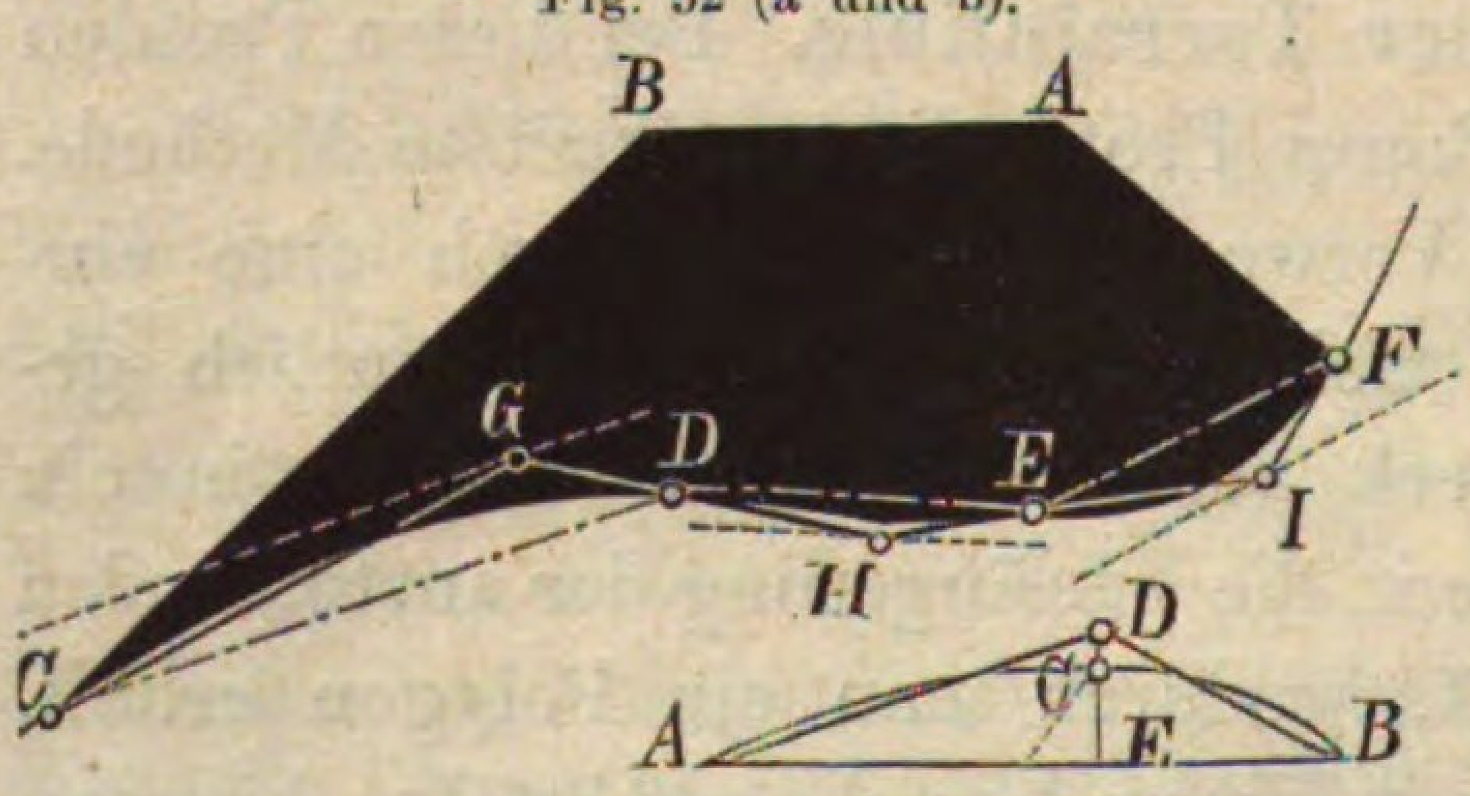
Fig. 51.



Im Allgemeinen ist hier wohl die geometrische Verwandlung in ein Viereck die geeignetste Methode der Flächenbestimmung.

§. 45. Profil mit gekrümmter Terrainlinie. Flachgekrümmte Linien kann man mit Hülfe eines Glaslineales oder einer auf Pauspapier gezogenen Geraden oft nach dem Augenmaasse derart rektificiren, dass die gezogene denselben Flächeninhalt abschneidet.

Fig. 52 (a und b).

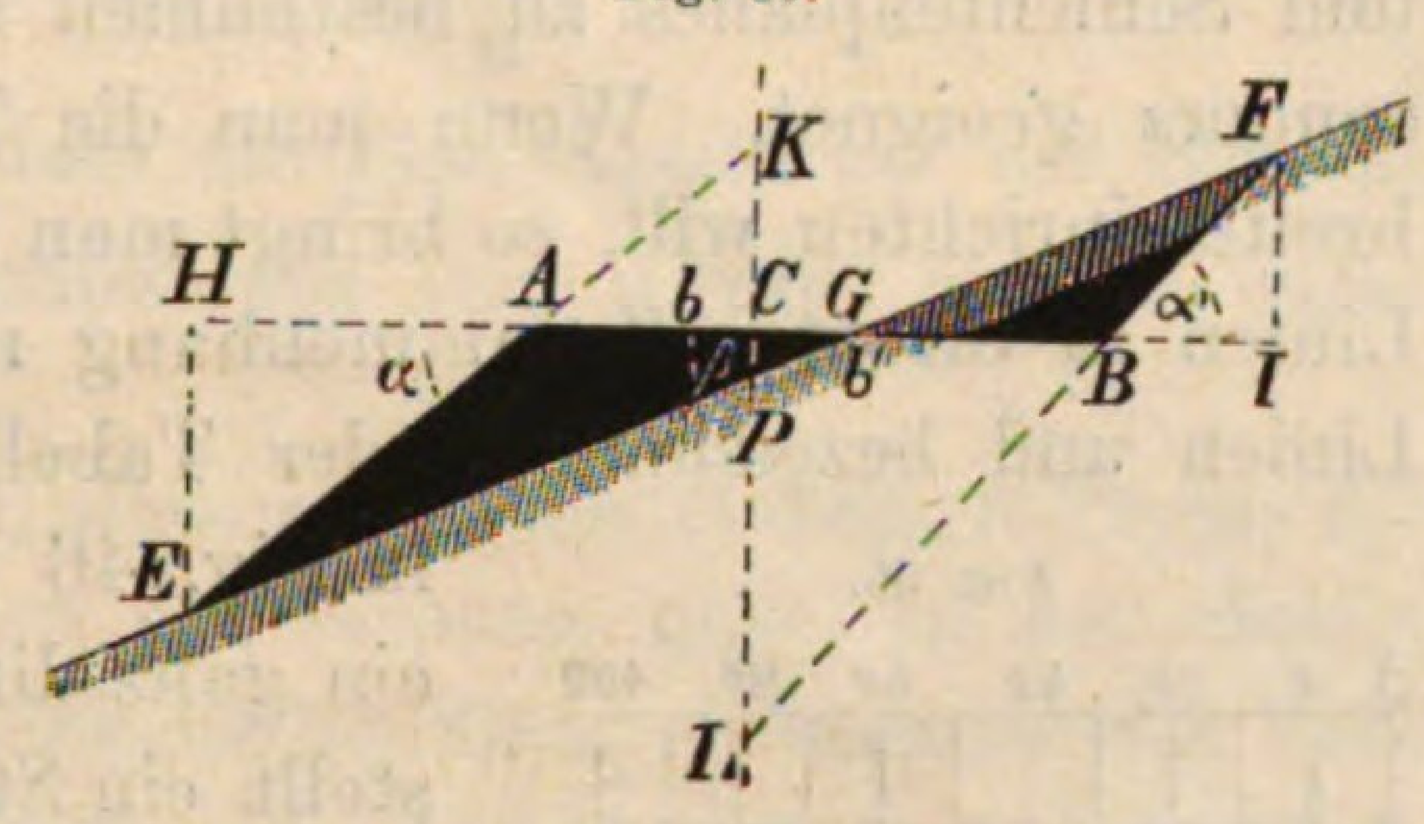


Stärker gekrümmte Linien theilt man derart ein, dass man die einzelnen Theile als Parabeln ansehen kann (Fig. 52a). Eine Parabelfläche ACB (Fig. 52b) hat aber gleichen Flächeninhalt mit einem Dreiecke ADB mit derselben Basis AB, dessen Höhe $ED = \frac{4}{3}$ der Höhe

der Höhe EC der Parabel ist. Man wird daher zu den Sehnen AD, DE, ... der einzelnen Parabeln (Fig. 52b) Parallelen ziehen, welche von den Sehnen einen Abstand haben, der gleich $\frac{4}{3}$ der Höhe der betreffenden Parabel ist und jetzt ein Polygon $CGHJF$ zeichnen, dessen Ecken auf diesen Parallelen liegen und dessen Seiten durch die Enden C, D, E, F der Sehnen gehen. Das so erhaltene Polygon kann man mit der gegebenen Fläche als gleich ansehen. Die Verwandlung in ein Viereck kann nur nach dem vorigen §. erfolgen.

§. 46. Anschnittsprofile. Bei den Profilen, in welchen Auf- und Abtrag gleichzeitig vorkommt, oder bei den sogen. Anschnittsprofilen, ist natürlich die Auftrags- und Abtragsfläche gesondert zu berechnen. Beide haben im Allgemeinen eine dreieckige oder dreiecksähnliche Form; man wird sie daher auch am besten als Dreiecke berechnen, indem man bei gebrochener oder krummliniger Begrenzung eine gerade Ausgleichungslinie zieht.

Fig. 53.



1. Berechnung. Ist ebenes Terrain mit dem Neigungswinkel β vorhanden, so ergibt sich der Flächeninhalt F_1, F_2 des Auf- und Abtrages leicht, wenn man $CK = h_0$, $CL = h_0'$ (Fig. 53) setzt, je nachdem die Höhe h Auf- oder Abtrag bedeutet, zu

$$\begin{cases} F_1 = \frac{(h_0 \pm h)^2}{2\,(tan\;\alpha - tan\;\beta)} - \frac{h_0^2}{2\;tan\;\alpha} + \frac{h^2}{2\;tan\;\beta}, \\ F_2 = \frac{(h_0' \pm h)^2}{2\,(tan\;\alpha' - tan\;\beta)} - \frac{h_0'^2}{2\;tan\;\alpha'} + \frac{h^2}{2\;tan\;\beta}. \end{cases}$$

Die weitere Reduktion gibt, wenn wir gleichzeitig $AC = b$, $BC = b'$, $h_0 = b\;tan\;\alpha$, $h'_0 = b'\;tan\;\alpha'$ und $cot\;\alpha = m$, $cot\;\alpha' = m'$, $tan\;\beta = n$ setzen,

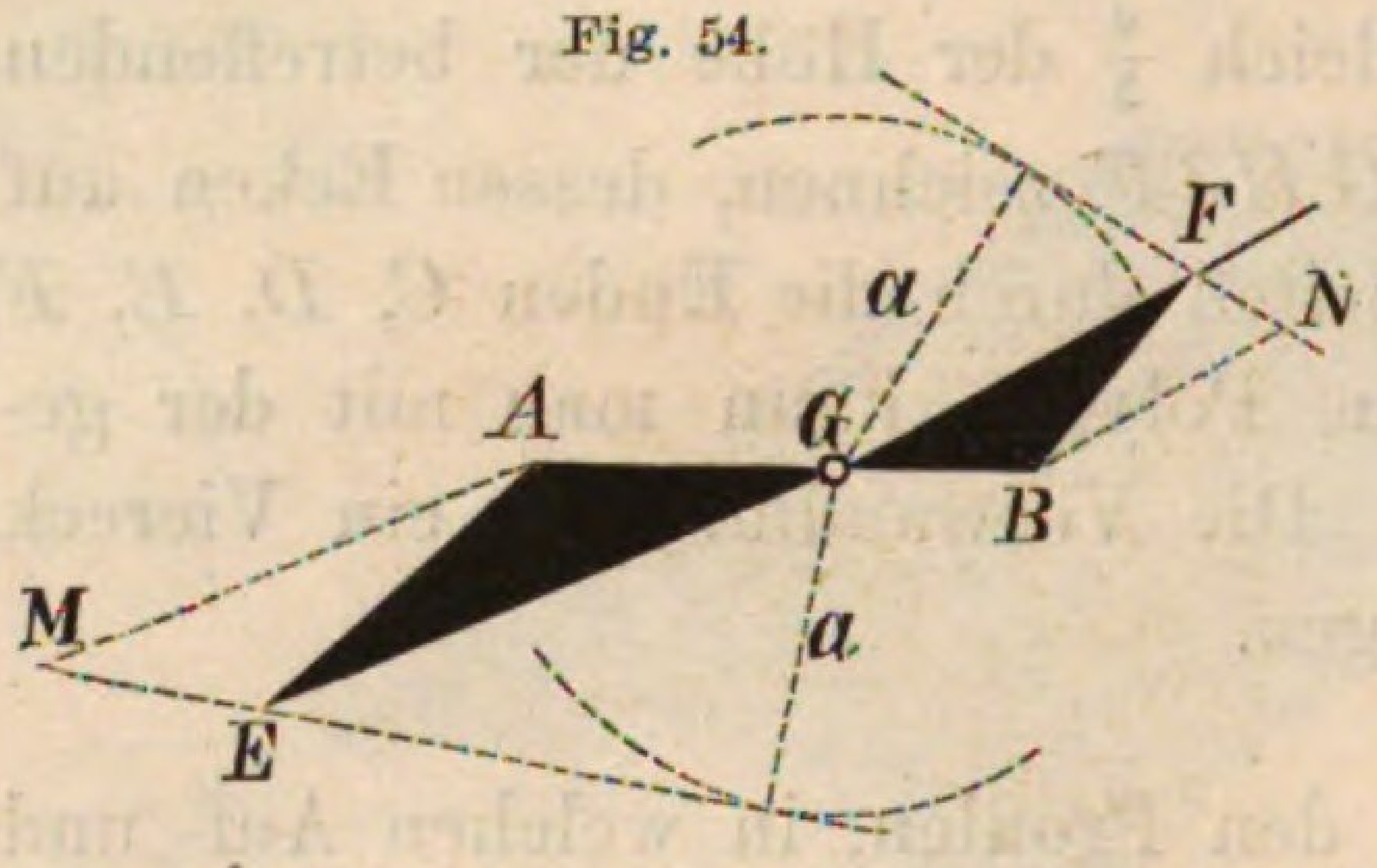
$$8. \quad \begin{cases} \boldsymbol{F_1 = \frac{(h + nb)^2}{2n\,(1 - mn)}}, \\ \boldsymbol{F_2 = \frac{(h \mp nb)^2}{2n\,(1 - m'n)}}. \end{cases}$$

Auch hiernach lassen sich numerische Tafeln anwenden. Jedoch wird es meist vorzuziehen sein, die Breiten GA, GB und die Höhen HE, JF mit dem Zirkel abzugreifen und die Dreiecksflächen nach der bekannten Regel zu berechnen.

2. Konstruktion. Man kann den Flächeninhalt in verschiedener Weise auch leicht grafisch bestimmen, z. B. nach der in §. 42

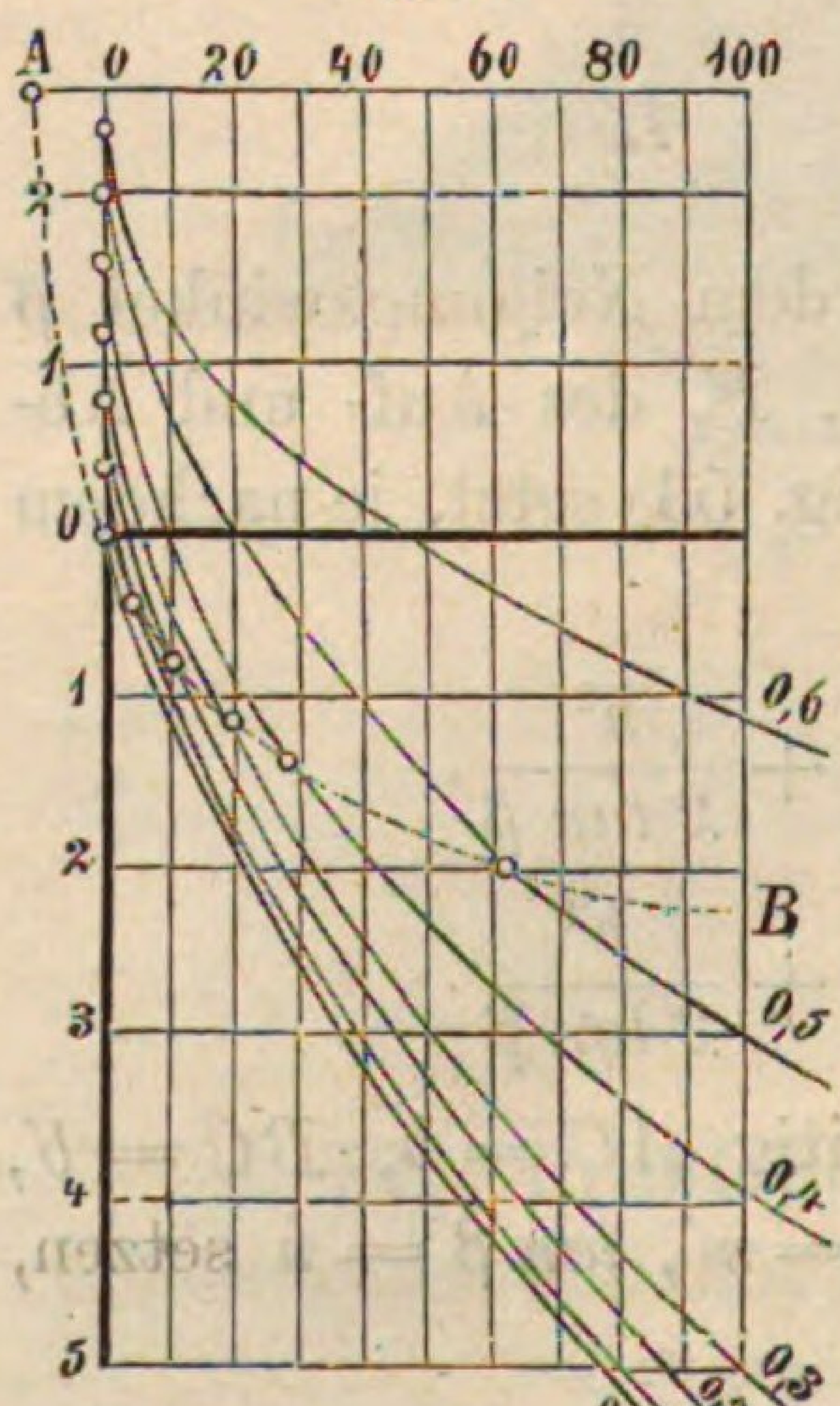
für Vierecke gezeigten Methode. Schlägt man nämlich aus G einen Kreis mit dem Radius a, legt an denselben von E und F aus Tangenten und schneidet dieselben durch Gerade, welche man durch A und B parallel zu GE und GF legt, in M und N, so ist $F_1 = \frac{1}{2} a \cdot ME$, $F_2 = \frac{1}{2} a \cdot NF$, also, wenn man $a = 2$ wählt, $F_1 = ME$, $F_2 = NF$.

Fig. 54.



3. Grafische Tabellen. Wenn die Querprofile nicht wirklich gezeichnet sind, sondern ihre Fläche bloss mit Hülfe des Längenprofiles und Schichtenplanes zu bestimmen sind, so sind grafische Tabellen besonders geeignet. Wenn man die Tabellen für eine bestimmte Planiebreite einrichten will, so bringt man am besten die für Anschnitte giltigen Linien in direkten Zusammenhang mit den für viereckige Profile giltigen Linien und bezeichnet in der Tabelle nicht die Höhe $h + h_0$, wie z. B. in Fig. 46 und 49, sondern die Höhe h, so dass ein ganz direkter Gebrauch möglich ist. Fig. 55 stellt ein Stück einer solchen Tabelle dar, wobei die Höhe h als Abscisse angenommen ist, so dass für Anschnittsprofile und Vierecke Parabeln entstehen. Der gemeinschaftliche Scheitel der Parabeln für Vierecke liegt in A, der Scheitel der Parabeln der Anschnittsprofile dagegen auf der Abscissenaxe in veränderlicher Höhe. Die punktirte Linie OB bezeichnet die Grenze zwischen Vierecken und Anschnittsprofilen. Würde man als Abscisse nicht h, sondern $(h + h_0)^2$ auftragen (Fig. 46), so dass für das Viereck gerade Linien entstehen, so würden dennoch für das Anschnittsprofil Parabeln entstehen, so dass diese Darstellungsweise hier weniger geeignet erscheint.

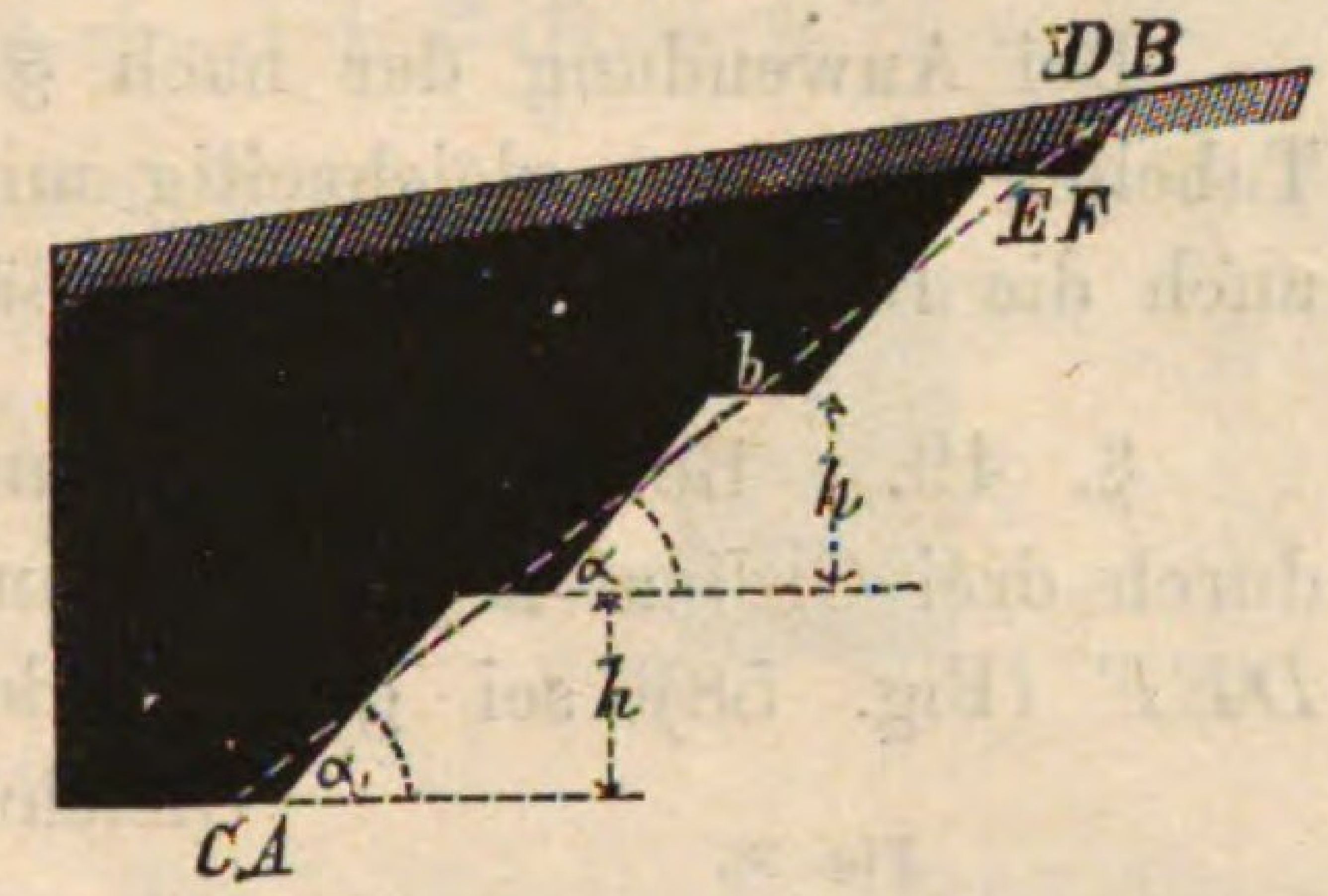
Fig. 55.



Die Flächentafeln, welche nach §. 43 für das fünfeckige Profil angelegt werden und welche die beiden Seiten des Profiles getrennt geben, lassen sich auch für die Anschnittsprofile verwenden. Für den Fall Fig. 53 würde man hinsichtlich des Auftrages durch die grafische Tabelle die Fläche der Dreiecke EKP und CPG bestimmen; von der Summe würde das Dreieck ACK abzuziehen sein; hinsichtlich des Abtrages würde man die Flächen der Dreiecke PLF und CPG bestimmen und von der Summe derselben das Dreieck CBL abziehen.

§. 47. Profile mit Bermen. Kommt in den Böschungen eine grössere Anzahl von Bermen vor, so denkt man sich die wirkliche Böschungslinie AB (Fig. 56) durch eine Ausgleichungslinie CD ersetzt, welche durch die Mitten der Bermen geht. Bezeichnen wir den Neigungswinkel dieser Ausgleichungslinie mit α_1, die Höhe der Terrassen mit h, die Breite der Bermen mit b, so ist $h = (b + h \cot \alpha) \tan \alpha_1$, oder $h \cot \alpha_1 = h + h \cot \alpha$, also

Fig. 56.



$$9.\quad \cot \alpha_1 = \cot \alpha + \frac{b}{h}.$$

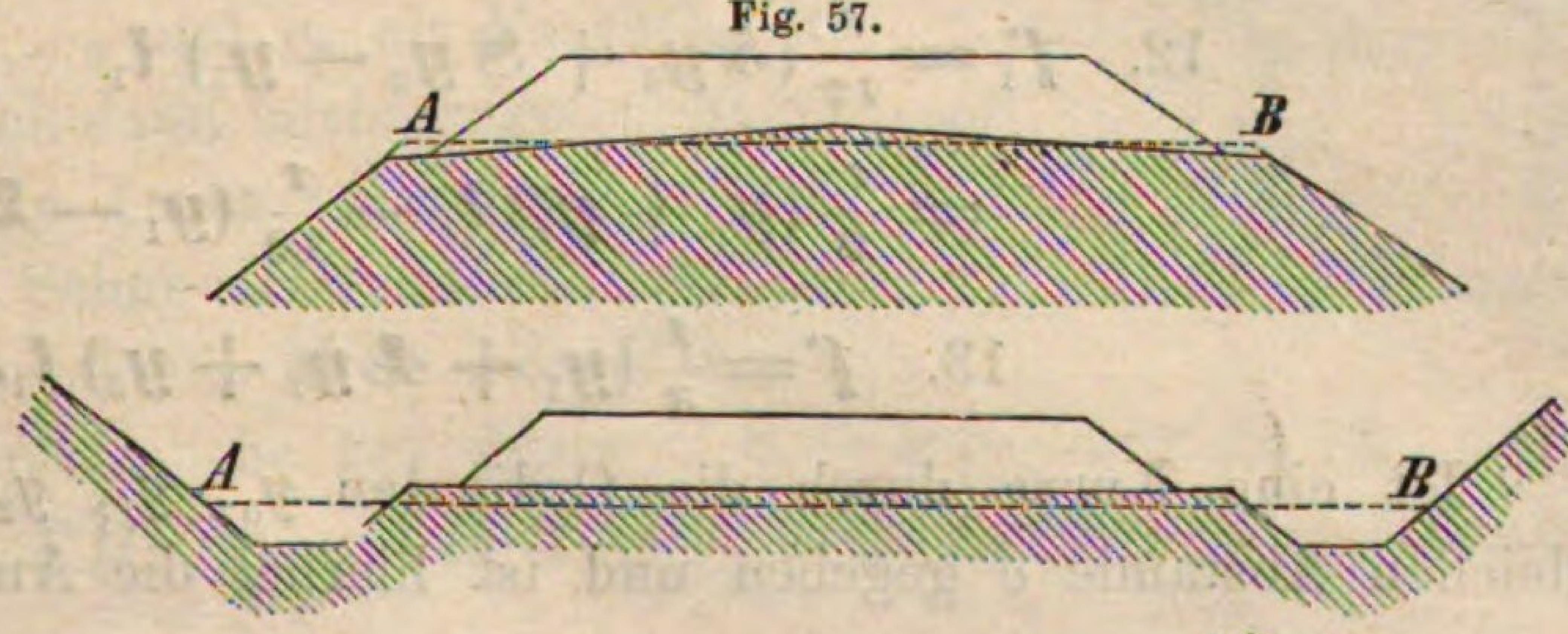
Die Breite AC ist $= \frac{1}{2} b$, so dass die Planiebreite bei der Berechnung des Profiles um b kleiner anzunehmen sein würde, als die wirkliche Planiebreite.

Es kann allerdings vorkommen, dass in einem einzelnen Profile die Gerade CD, welche durch die Mitten der Bermen geht, in der oberen Terrasse keinen vollständigen Ausgleich herbeiführt. Jedoch ist der Fehler nur gering; nöthigenfalls kann man eine Korrektion vornehmen, indem man zu dem durch die Ausgleichungslinie begrenzten Profile die kleine Fläche $EDBF$ hinzufügt.

Würde man die Ausgleichungslinie von A aus beginnen lassen, so würde der Winkel α_1 schwieriger zu bestimmen und auch mit der Tiefe des Einschnittes variabel sein.

§. 48. Berücksichtigung der Bettungs- und Grabenprofile. Die Profilfläche der Bettung des Oberbaues darf in das Querprofil des Auf- und Abtrages nicht einbezogen werden; die Bettungsfläche bildet also den eigentlichen Abschluss. Bei Anwendung des Planimeters umfährt man am besten die wirklich zu bestimmende Fläche. Bei Anwendung der Rechnung kann man zwei Verfahren anwenden: 1. Man bestimmt die Fläche, welche durch die Planie begrenzt wird; im Auftrage zieht man hiervon die Profilfläche der Bettung ab; im Abtrage fügt man die Profilfläche der Bettung, sowie die Profilflächen der Gräben hinzu. 2. Man zieht eine horizontale Gerade AB (Fig. 57) derart, dass die über

Fig. 57.

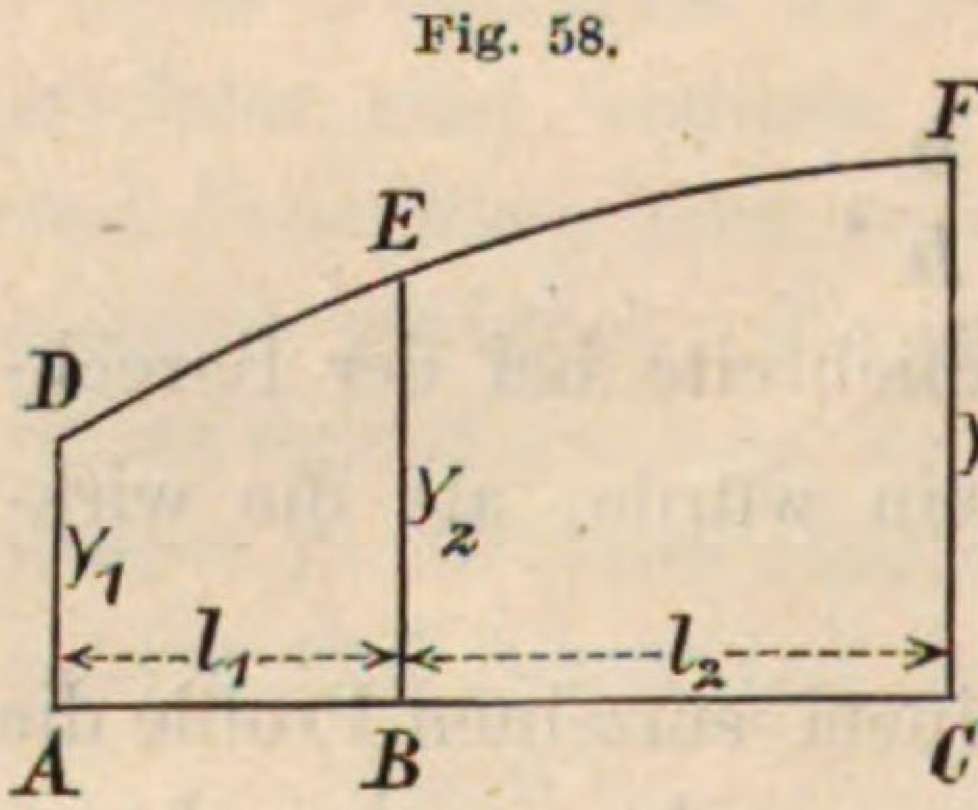


und unter dieser Geraden liegenden, von der Bettungssohle und den Grabenkonturen begrenzten Flächen einander gleich sind und nimmt nun AB als Begrenzung der zu bestimmenden Fläche an.

Bei Anwendung der nach §. 42. oder 43. konstruirten grafischen Tabellen wird man gleichzeitig mit der Ergänzungsfläche AGB (Fig. 47) auch die Bettungs- und Grabenfläche resp. addiren und subtrahiren.

§. 49. Berechnung krummlinig begrenzter Flächen. Eine durch drei Ordinaten y_1, y_2, y_3 und deren Abstände l_1, l_2 gegebene Kurve DEF (Fig. 58) sei genau oder annähernd eine Parabel mit der Gleichung

Fig. 58.



$$y = a + bx + cx^2.$$

Alsdann ist $y_1 = a$, $y_2 = a + bl_1 + cl_1^2$, $y_3 = a + b(l_1 + l_2) + c(l_1 + l_2)^2$. Aus diesen drei Gleichungen ergibt sich, wenn man die ganze Länge $l_1 + l_2 = l$ setzt,

$$a = y_1,\quad c = \frac{y_1 l_2 - y_2 l + y_3 l_1}{l l_1 l_2},$$

$$b = -\frac{y_1 l_2 (2l_1 + l_2) + y_2 l^2 + y_3 l_1^2}{l l_1 l_2}.$$

Bezeichnet nun f_1 die Fläche $ADEB$, f die ganze Fläche $ADFC$, so ist

$$f = \int_0^{l_1} y dx = \int_0^{l_1} (a + bx + cx^2)\, dx = l_1 (a + \tfrac{1}{2} bl_1 + \tfrac{1}{3} cl_1^2),$$

$$f_1 = \int_0^{l} y dx = \int_0^{l} (a + bx + cx^2)\, dx = l (a + \tfrac{1}{2} bl + \tfrac{1}{2} cl^2).$$

Setzt man die Ausdrücke für a, b und c ein, so ergibt sich nach gehöriger Reduktion

10. $$\boldsymbol{f_1 = \frac{y_1 l_2 (2l_1 + 3l_2) + y_2 (l_1 + l_2)(l_1 + 3l_2) - y_3 l_1^2}{6(l_1 + l_2) l_2}\, l_1,}$$

11. $$\boldsymbol{f = \frac{y_1 l_2 (2l_1 - l_2) + y_2 (l_1 + l_2)^2 + y_3 l_1 (2l_2 - l_1)}{6 l_1 l_2}\, l.}$$

Sind die Abstände l_1 und l_2 gleich gross, so wird wesentlich einfacher

12. $$\boldsymbol{f_1 = \tfrac{1}{12}(5y_1 + 8y_2 - y_3)\, l_1}$$
$$\boldsymbol{= \tfrac{1}{2}(y_1 + y_2)\, l_1 - \tfrac{1}{12}(y_1 - 2y_2 + y_3)\, l_1.}$$

13. $$\boldsymbol{f = \tfrac{1}{3}(y_1 + 4y_2 + y_3)\, l_1.}$$

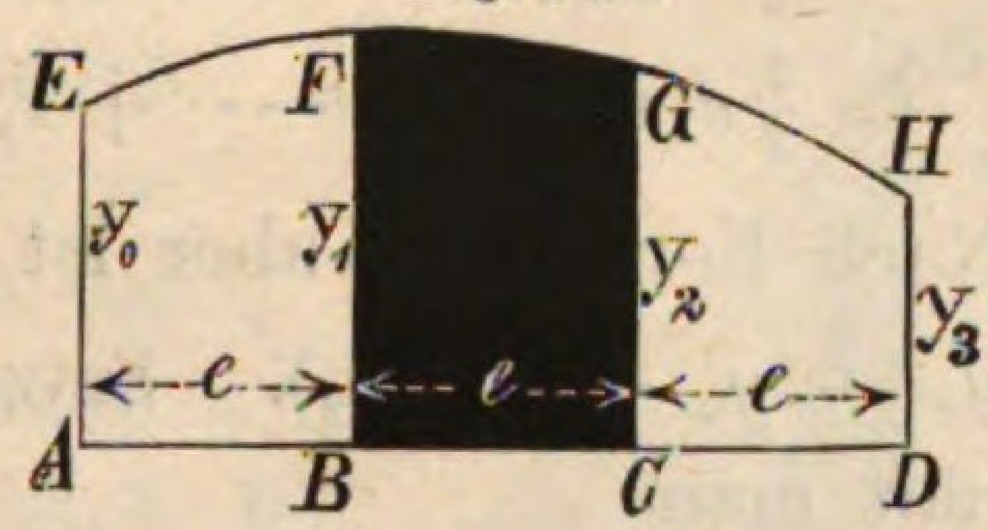
Ist eine Kurve durch die Ordinaten y_0, y_1, $y_2 \ldots y_n$ mit dem gleichen Abstande e gegeben und ist hierbei die Anzahl n der Theile

eine gerade Zahl, so gibt die $\frac{1}{2}$ nmalige Anwendung der Regel 13 als Gesammtflächeninhalt F die bekannte Simpson'schen Regel:

$$14.\quad \boldsymbol{F=\frac{1}{3}e\,[y_0+y_n+4\,(y_1+y_3+\ldots)+2\,(y_2+y_4+\ldots)]}.$$

Ist eine Kurve durch vier Ordinaten y_0, y_1, y_2, y_3 (Fig. 59) in gleichem Abstande e gegeben, so lässt sich die mittlere Höhe $f = BFGC$ in doppelter Weise durch die Formel 13 bestimmen; man erhält nämlich einmal $f=\frac{1}{12}\,e\,(5\,y_2+8\,y_1-y_0)$ und ausserdem $f=\frac{1}{12}\,e\,(5\,y_1+8\,y_2-y_3)$. Nimmt man das arithmetische Mittel dieser beiden Ausdrücke, so erhält man

Fig. 59.



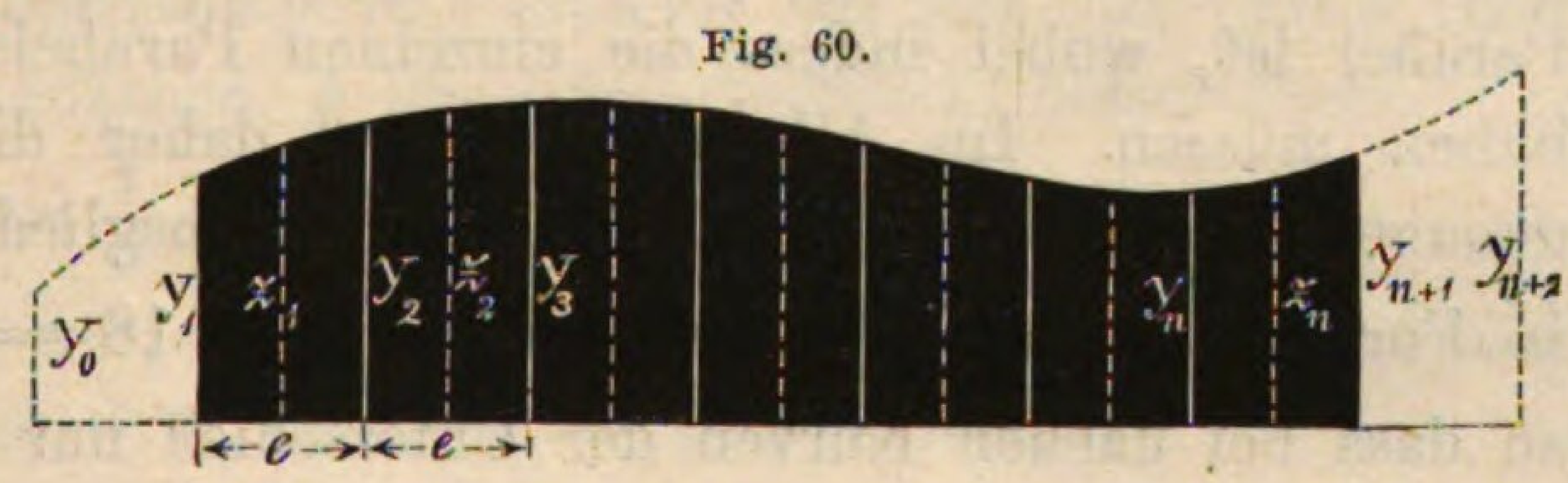
$$15.\quad \boldsymbol{f=\frac{1}{24}\,[13\,(y_1+y_2)-(y_0+y_3)]\,l}$$

$$\boldsymbol{=\frac{1}{2}\,(y_1+y_2)-\frac{1}{24}\,(y_0-y_1-y_2+y_3)\,l}.$$

Denselben Ausdruck würde man erhalten, wenn man die Linie $EFGH$ als eine Kurve dritten Grades ansehen würde.

Ist eine Kurve durch die Ordinaten $y_0, y_1, y_2, \ldots y_n, y_{n+1}, y_{n+2}$ im gleichen Abstande e gegeben (Fig. 60), so ergibt sich als Flächeninhalt F des zwischen den Ordinaten y_1 und y_{n+1} liegenden Theiles, wenn man jeden einzelnen Theil nach der Formel 15 bestimmt,

Fig. 60.

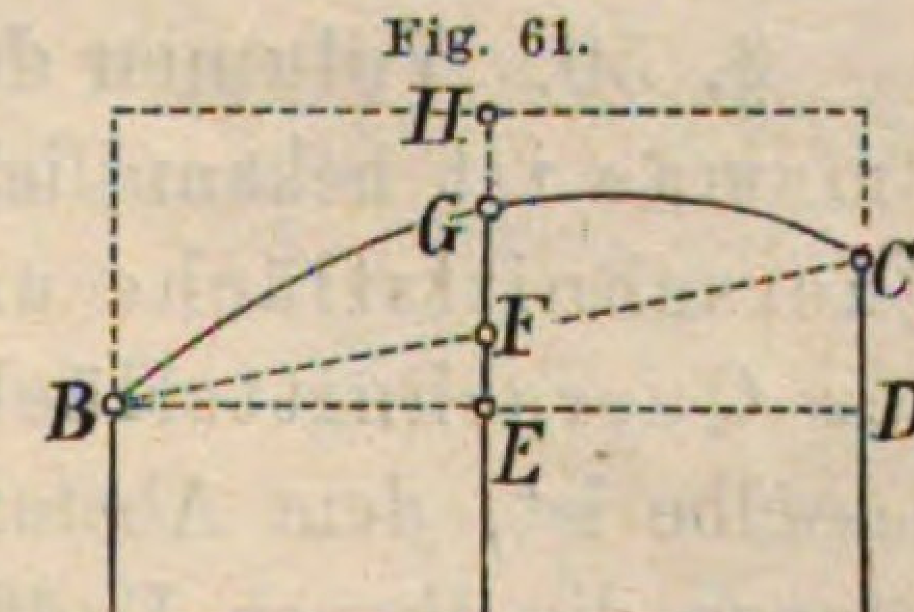


$$16.\quad \boldsymbol{F=e\left(\frac{1}{2}\,y_1+y_2+y_3+y_4\ldots+y_n+\frac{1}{2}\,y_{n+1}\right)}$$

$$\boldsymbol{-\frac{1}{24}\,e\,(y_0-y_2-y_n+y_{n+2})}.$$

Hierbei kann die Anzahl n der Theile gerade oder ungerade sein. Ist y_0 und y_n nicht selbst gegeben, so kann man das Korrektionsglied $\frac{1}{24}\,e\,(y_0-y_2-y_n+y_{n+2})$ leicht bestimmen, wenn man die Kurven zwischen y_0 und y_2, sowie zwischen y_{n-2} und y_n als Parabeln ansieht. Es ergibt sich dann leicht folgende Regel: ist BC (Fig. 61) die Kurve zwischen y_1 und y_2, so ziehe man die Sehne BC und die Horizontale BD, sowie durch die Mitte von BD eine Vertikale EFG und mache auf dieser $GH=FG$; alsdann ist $-\frac{1}{24}\,e$ $(y_0-y_2)=\frac{1}{6}\,e\,.\,EH$. Ebenso lässt sich $\frac{1}{24}\,e\,(y_n-y_{n+2})$ bestimmen.

Fig. 61.



Bezeichnet man die in der Mitte jedes einzelnen Theiles genommene Ordinate mit $z_1, z_2, \cdots z_n$ (Fig. 57) und betrachtet man die Kurve für jeden einzelnen Theil als Parabel, so wird unter Anwendung der Formel 13 der gesammte Flächeninhalt

$$F = \frac{1}{6} e\,[(y_1 + 4z_1 + y_2) + (y_2 + 4z_2 + y_3) + \cdots]$$
$$= \frac{2}{3} e(z_1 + z_2 + \cdots + z_n) + \frac{1}{3} e\left(\frac{1}{2} y_1 + y_2 + y_3 + \cdots + y_n + \frac{1}{2} y_{n+1}\right).$$

Nach Formel 16 aber ist $e\left(\frac{1}{2} y_1 + y_2 + y_3 + \cdots\right) = F + \frac{1}{24} e\,(y_0 - y_2 - y_n + y_{n+2})$. Setzt man dies ein und reducirt auf F, so erhält man

17. $$\boldsymbol{F = e(z_1 + z_2 + \cdots + z_n) + \frac{1}{48} e\,(y_0 - y_2 - y_n + y_{n+2})},$$

wobei das Korrektionsglied $\frac{1}{48} e\,(y_0 \cdots)$ halb so gross ist, als in der Formel 16. Ist y_0 und y_{n+2} nicht selbst gegeben, so kann das Korrektionsglied in der vorhin gezeigten Weise bestimmt werden.

Die von Poncelet angegebene Formel lautet

18. $$\boldsymbol{F = e(z_1 + z_2 + \cdots + z_n) + \frac{1}{12}(y_1 - z_1 - z_n + y_{n+1})}.$$

Diese Formel ist richtig, wenn die Kurve in jedem einzelnen Theile eine Parabel ist, wobei indess die einzelnen Parabelsegmente gleiche Höhe haben müssen. Im Allgemeinen wird daher die Formel 16 oder 17 genauere Resultate geben. Das Korrektionsglied wird für den Anfang in Formel 17 $= -\frac{1}{12} e \cdot EH$, in Formel 18 $= -\frac{1}{12} e \cdot EG$ (Fig. 58), so dass bei flachen Kurven der Unterschied nur gering ist.

V. Kapitel.

Massenberechnung.

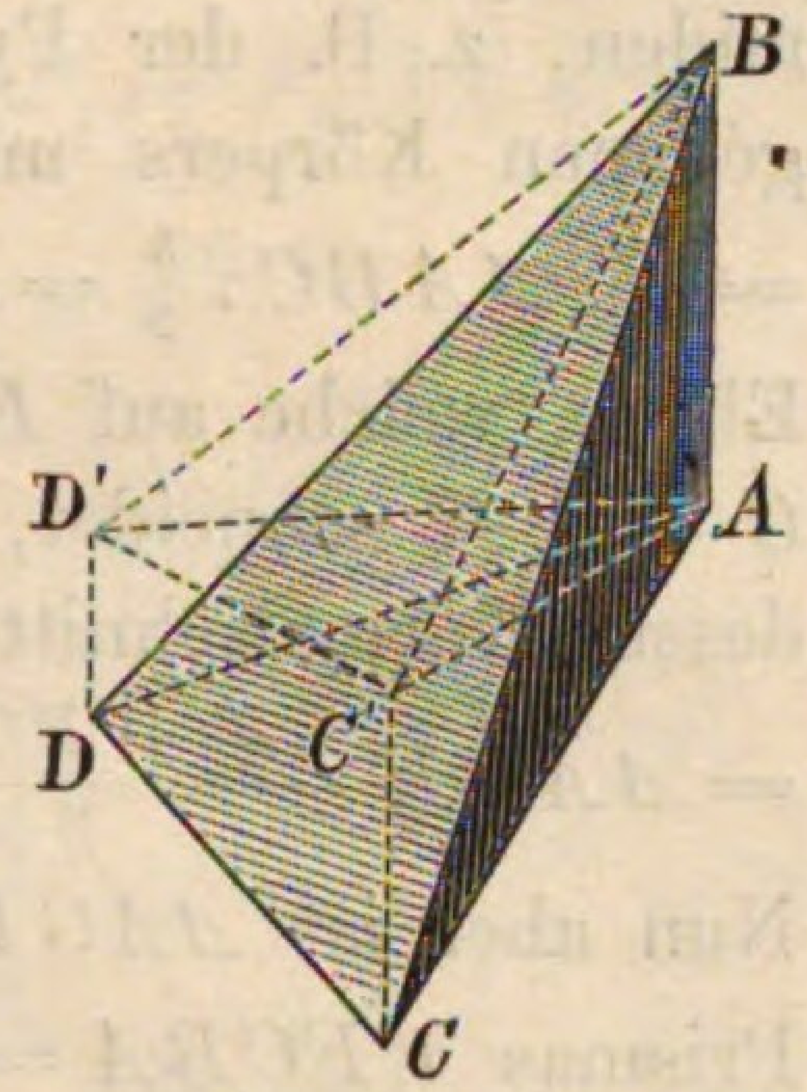
§. 50. Volumen des Prisma. Das Volumen eines beliebigen Prismas ist bekanntlich gleich dem Produkte aus der normalen Querschnittsfläche und der Länge der durch den Schwerpunkt der Querschnittsfläche gehenden Axe des Prismas oder, was dasselbe ist, dem Abstande der Schwerpunkte der Endflächen. Hierbei können die ebenen Endflächen eine beliebige Lage haben.

Bei einem dreiseitigen Prisma erhält man das Volumen auch durch Multiplikation der normalen Querschnittsfläche mit dem arithmetischen Mittel aus den drei Seitenkanten.

Auch ein mehrseitiges Prisma wird man oft lieber in dreiseitige Prismen zerlegen, als die Schwerpunktsaxe zu bestimmen.

§. 51. Volumen der Pyramide. Es sei *ACDB* (Fig. 62) eine beliebige dreiseitige Pyramide mit der vertikalen Kante *AB;* fällen wir auf die durch *A* gelegte Horizontalebene die Senkrechten *CC'*, *DD'*, so ist $\triangle ABC = \triangle ABC'$. Nimmt man diese Dreiecke als Grundflächen für die Pyramiden *ACDB* und *AC'D'B* an, so sind auch die Höhen mithin die Volumina der Pyramiden gleich. Das Volumen der Pyramide *ACDB* ist demnach $= \frac{1}{3} \triangle AC'D' \cdot AB$. Wendet man diesen Satz auf die einzelnen dreiseitigen Pyramiden an, in welche sich jede beliebige Pyramide durch Vertikalebenen, welche sich durch die Spitze legen lassen, an, so erhält man den Satz: Das Volumen jeder Pyramide ist gleich ein Drittheil des Produktes aus dem Flächeninhalte der Horizontalprojektion der Grundfläche und dem Vertikalabstande der Spitze von der Basis.

Fig. 62.



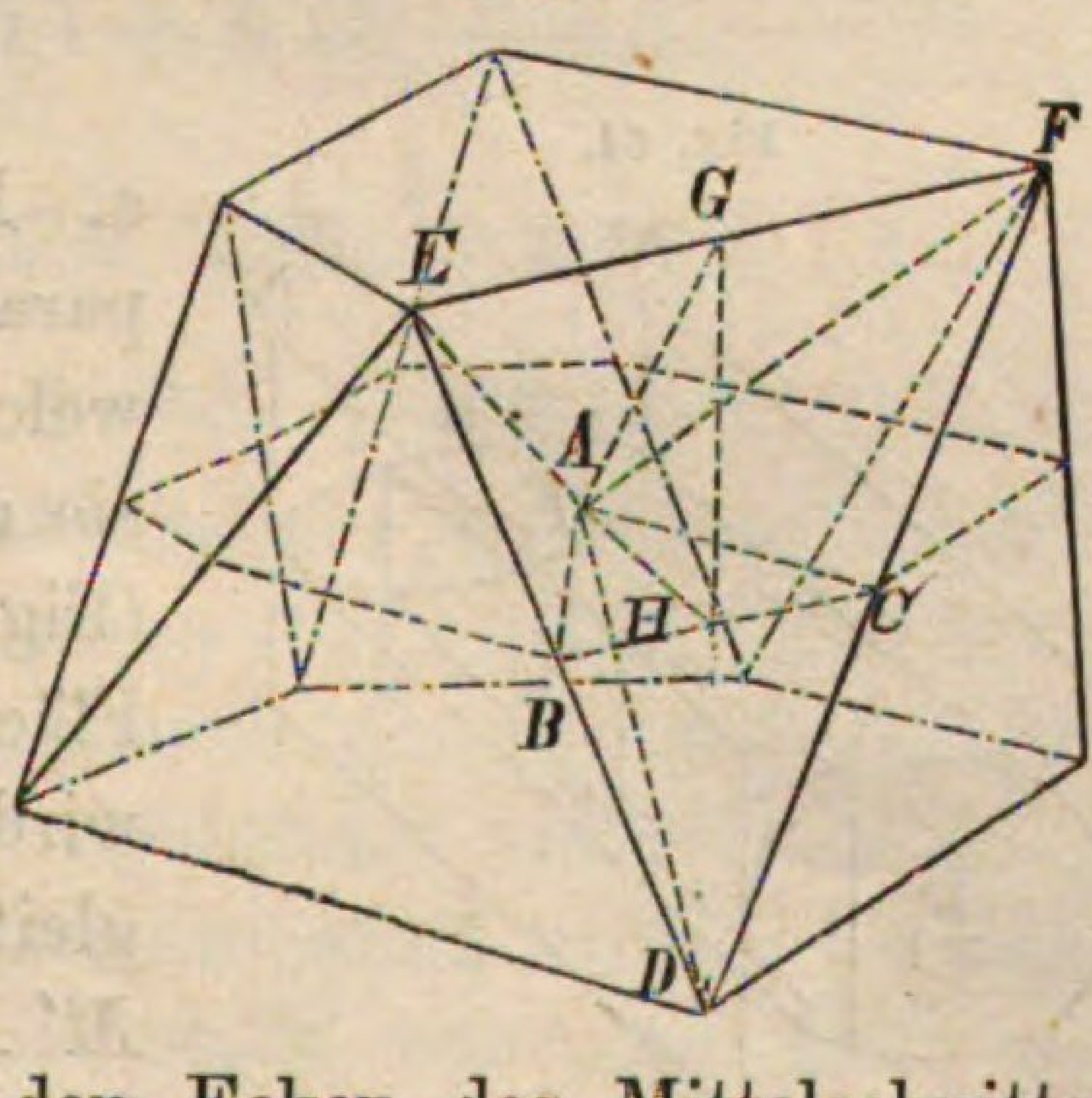
Das Volumen der abgestumpften Pyramide ist, wenn F_1 und F_2 den Inhalt der beiden Grundflächen, *h* die Höhe bedeutet, bekanntlich

$$1. \quad V = \frac{1}{3} (F_1 + \sqrt{F_1 F_2} + F_2)\, h.$$

Jedoch gilt diese Regel nur, wenn beide Grundflächen parallel sind und die Höhe *h* senkrecht zu den Grundflächen gemessen wird.

§. 52. Volumen des Prismatoides. Wir verstehen unter Prismatoid einen Körper, welcher begrenzt wird von zwei beliebigen Polygonen, deren Ebenen einander parallel sind, als Grundflächen und Dreiecken als Seitenflächen (Fig. 63). Die Anzahl der Seitenflächen ist gleich der Summe der Seiten der Grundflächen. Hierbei können sich je zwei Dreiecke in ein Trapez vereinigen, wenn die betreffenden Seiten der beiden Grundflächen parallel sind.

Fig. 63.



Zur Ermittelung des Volumens legen wir einen Schnitt, welcher den Grundflächen parallel ist und die Senkrechte zwischen denselben, die Höhe, halbirt; wir nennen denselben den Mittelschnitt. Einen beliebigen Punkt *A* des Mittelschnittes verbinden wir mit den Ecken des Mittelschnittes (*AB*, *AC* etc.) und mit den Ecken der Grundflächen (*AD* etc., *AE*,

AF etc.). Wir zerlegen hierdurch den Körper in zwei Pyramiden, deren Grundflächen die Grundflächen des Körpers sind, und deren Spitze in A liegt, und in dreiseitige Pyramiden, deren Grundflächen die Seitenflächen des Körpers sind und deren Spitze in A liegt.

Wir bestimmen zunächst das Volumen v einer der letzteren Pyramiden, z. B. der Pyramide $DEFA$. Bezeichnen wir die Höhe des gegebenen Körpers mit h, so ist das Volumen der Pyramide $ABCD$ $= \frac{1}{3} . \Delta ABC . \frac{h}{2} = \frac{1}{6} \Delta ABC . h$. Legen wir ferner durch A eine Ebene, welche auf EF und BC senkrecht steht und diese Geraden in G und H schneidet, so ist das Volumen des Prismas $EFCBA$, weil dessen Normalschnitt ΔAGH und dessen drei Kanten EF, BC und 0 sind, $= \Delta AGH \frac{EF + BC + 0}{3}$, oder, weil $EF = 2\,BC$ ist, $= \Delta AGH . BC$. Nun aber ist $\Delta AGH = \frac{1}{2} AH . \frac{h}{2} = \frac{1}{4} AH . h$, also das Volumen des Prismas $EFCBA = \frac{1}{4} AH . h . BC = \frac{1}{2} \Delta ABC . h$. Folglich ist nun das Volumen der Pyramide $DEFA = \left(\frac{1}{6} + \frac{1}{2}\right) \Delta ABC . h = \frac{2}{3} \Delta ABC . h$.

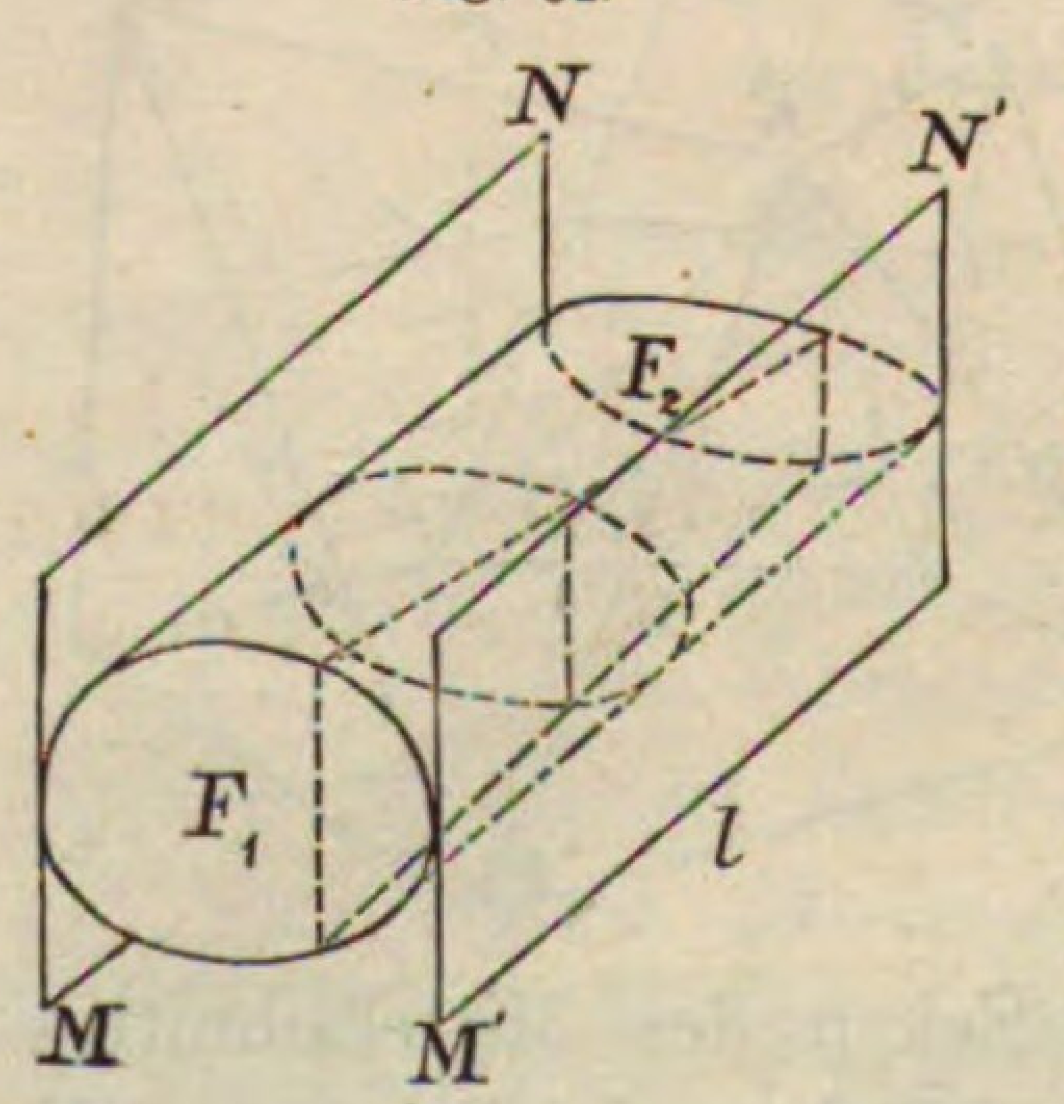
Demnach ist die Summe aller Pyramiden, deren Grundflächen die Seitenflächen des gegebenen Körpers sind, $= \frac{2}{3} F . h$, wenn F den Flächeninhalt des Mittelschnittes bezeichnet.

Bezeichnet nun ferner F_1, F_2 den Flächeninhalt der beiden Grundflächen, so sind die Volumina der beiden noch übrigen Pyramiden $\frac{1}{3} F_1 . \frac{h}{2} = \frac{1}{6} F_1\, h$, und $\frac{1}{3} F_2 . \frac{h}{2} = \frac{1}{6} F_2\, h$; folglich ist das Volumen V des ganzen Körpers

$$2. \quad \boldsymbol{V = \frac{1}{6} (F_1 + 4F + F_2)\, h.}$$

Diese Formel gestattet allein oder in Verbindung mit den Regeln für das Prisma und die Pyramide eine vielfache Anwendung zur Berechnung von Erdkörpern.

Fig. 64.



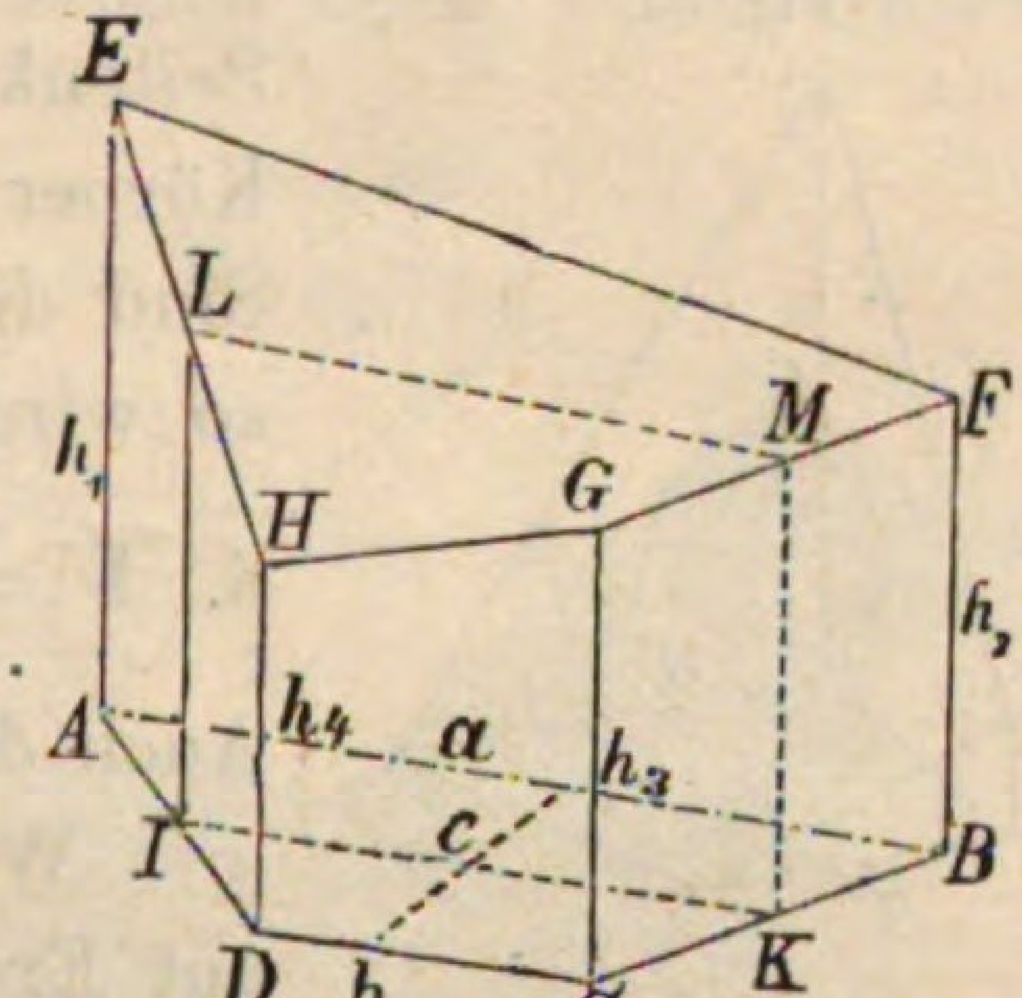
§. 53. Specielle Fälle des Prismatoides.

a. Ein Körper werde begrenzt von zwei parallelen ebenen Flächen, den Grundflächen, welche beliebig begrenzt sind, jedoch so, dass sie an zwei andere Parallelebenen MN, $M'\,N'$ (Fig. 64) anschliessen und ausserdem von einer Fläche, welche von einer Geraden beschrieben wird, die auf dem Umfange der Grundflächen gleitet und dabei immer den Ebenen MN, $M'\,N'$ parallel bleibt. Auch dieser Körper lässt sich als Prismatoid betrachten, dessen Seitenflächen unendlich schmale Dreiecke sind.

Legt man eine Ebene parallel zu den Ebenen MN, $M'N'$, so ist die Sehne, in welcher der Mittelschnitt geschnitten wird, das arithmetische Mittel der Sehnen, in welchen die Grundflächen geschnitten werden, woraus leicht folgt, dass der Mittelschnitt das arithmetische Mittel aus den beiden Grundflächen ist. Bezeichnen wir den normalen Abstand der letzteren mit l, so ist nach 2: $V = \left[\frac{2}{3} \cdot \frac{1}{2}(F_1 + F_2) + \frac{1}{6}(F_1 + F_2)\right] l$, d. i.

$$3. \quad \boldsymbol{V = \frac{F_1 + F_2}{2}\, l},$$

Fig. 65.



d. h. **das Volumen ist das Produkt aus dem arithmetischen Mittel der Grundflächen und der Länge.**

b. **Prisma mit windschiefer Endfläche.** Die Grundfläche $ABCD$ (Fig. 65) des normalen Prismas sei ein Trapez mit den parallelen Seiten AB, DC. Die andere Endfläche $EFGH$ entstehe, indem eine Gerade auf den Geraden EH, FG gleitet und dabei parallel zu den durch AB, CD gehenden Seitenflächen bleibt. Diese Fläche ist alsdann eine windschiefe Fläche oder ein hyperbolisches Paraboloid. Auch dieser Körper lässt sich als Prismatoid ansehen. Wir bezeichnen die parallelen Seiten der Grundfläche mit a, b, die Höhe derselben mit c, die Längen der Seitenkanten mit h_1, h_2, h_3, h_4. Der Mittelschnitt ist ein Trapez mit den parallelen Seiten $\frac{1}{2}(h_1 + h_4)$ und $\frac{1}{2}(h_2 + h_3)$ und der Höhe $\frac{1}{2}(a + b)$, daher ist die Fläche desselben $\frac{1}{8}(a + b)(h_1 + h_2 + h_3 + h_4)$. Nach 2. ist demnach das Volumen

$$4. \quad \boldsymbol{V = \frac{1}{12} c \,[(a + b)(h_1 + h_2 + h_3 + h_4) + a(h_1 + h_2) + b(h_3 + h_4)]},$$

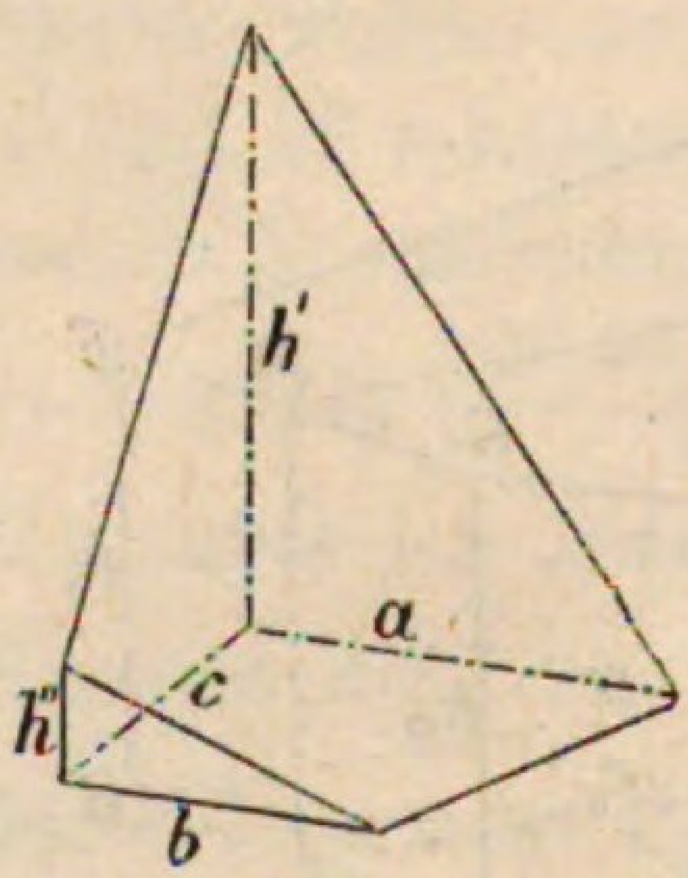
oder auch

$$5. \quad \boldsymbol{V = \frac{1}{12} c \,[a(2h_1 + 2h_2 + h_3 + h_4) + b(h_1 + h_2 + 2h_3 + 2h_4)]}.$$

Diese Regel lässt sich auch leicht direkt erhalten. Legt man nämlich durch die Mitte von EF und GH Parallelen zu AB und CD und durch diese Parallelen eine Ebene, so ist das Volumen des Prismas, welches durch die Ebene N, sowie durch die Grundfläche und Seitenflächen begrenzt wird, wie leicht zu übersehen ist, ebenso gross, wie der fragliche Körper. Für das Volumen dieses Prismas erhält man aber leicht die Formel 5. Es lässt sich hierdurch indess noch eine andere Regel nachweisen. Legt man durch die Mitte von AB und CD eine Vertikalebene,

so schneidet diese die vorhin gelegte Ebene N in einer Geraden, welche auch der windschiefen Fläche gemein ist. Da in dieser Vertikalebene auch der Schwerpunkt der Grundfläche liegt, so folgt aus §. 50 sofort der Satz: Das Volumen des normalen Prismas mit trapezförmiger Grundfläche und windschiefer Endfläche ist gleich dem Produkte aus der Grundfläche und der im Schwerpunkte derselben gemessenen Höhe.

Fig. 66.



c. Windschiefer Keil. Werden zwei der Seitenkanten Null, so kann man den entstehenden Körper einen windschiefen Keil nennen (Fig. 66). Sind die beiden noch übrigen Seitenkanten h', h'', so wird das Volumen

$$6.\quad \boldsymbol{V = \tfrac{1}{12}\, c\, [a\,(2h' + h'') + b\,(h' + 2h'')]}.$$

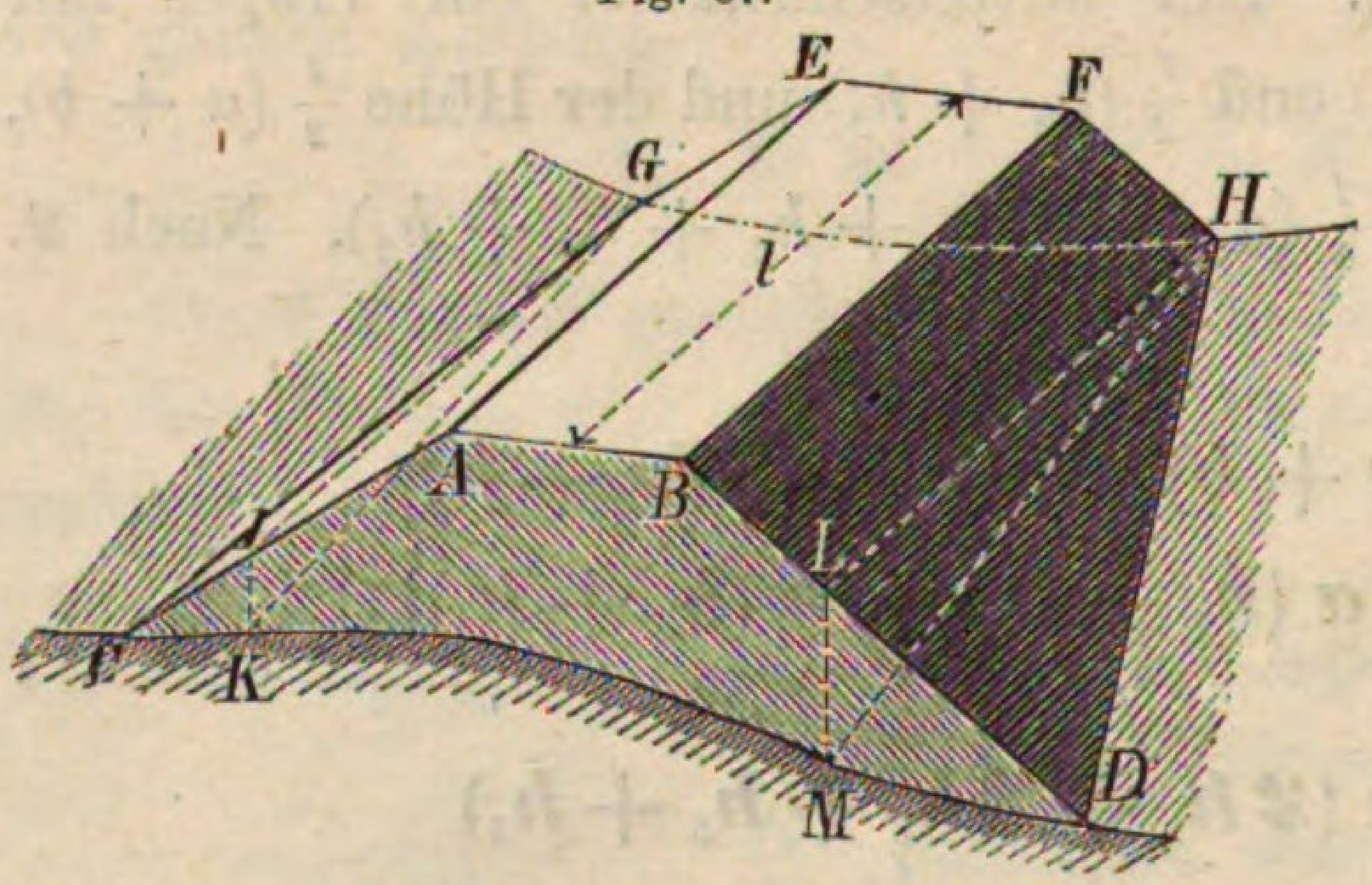
Auch diese Formel lässt sich leicht direkt ableiten.

Wir gehen nun zu speciellen Anwendungen auf Erdkörper über.

§. 54. Berechnung der Körper als Prismatoide oder Prismen mit windschiefen Flächen.

a. Wir schneiden von dem Körper durch zwei Vertikalebenen, welche den Planiekanten parallel sind, zwei pyramidale Körper $CJKG$ und $DLMH$ (Fig. 67) ab. Die zwischen diesen beiden Ebenen liegende Terrainfläche denken wir entstanden durch Bewegung einer Geraden, welche stets den Vertikalebenen parallel bleibt. Bezeichnen wir die Flächen der beiden Querprofile, zwischen denen der Körper enthalten ist, mit F_1, F_2, den Abstand derselben mit l, die Flächen von CJK, DLM mit φ_1, φ_2, so ist der Inhalt des zwischen beiden Vertikalebenen enthaltenen Körpers nach Formel 2 $= \frac{1}{2}(F_1 - \varphi_1 - \varphi_2 + F_2)\, l$.

Fig. 67.



Den Inhalt der beiden pyramidalen Körper können wir zu $\frac{1}{3}\varphi_1 l$ und $\frac{1}{3}\varphi_2 l$ annehmen. Demnach wird $V = \frac{1}{2}(F_1 + F_2 - \varphi_1 - \varphi_2)\, l + \frac{1}{3}\varphi_1 l + \frac{1}{3}\varphi_2 l$, oder

$$7.\quad \boldsymbol{V = \left(\frac{F_1 + F_2}{2} - \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}\right) l}.$$

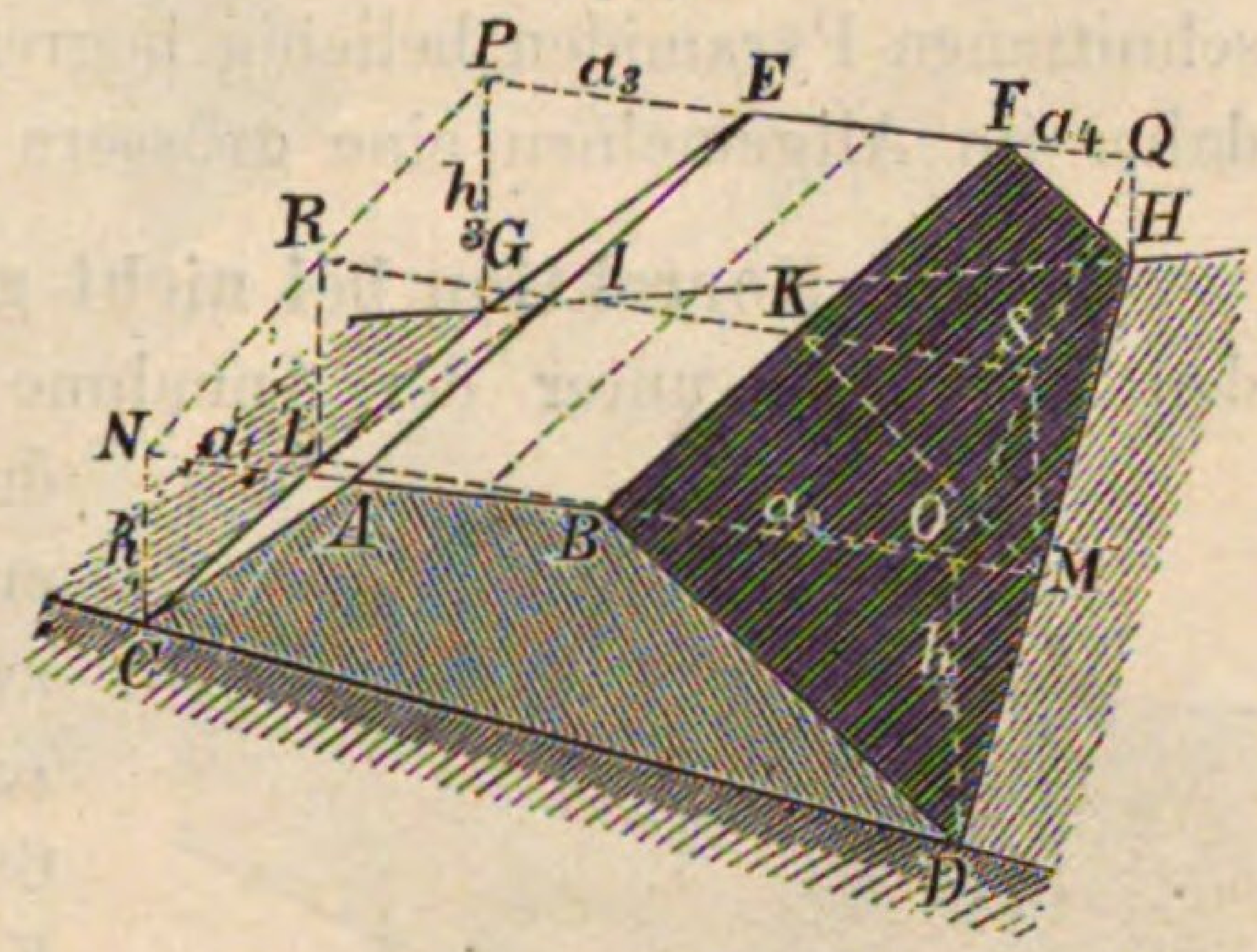
Wenn die beiden Profile wenig von einander abweichen, so wird φ_1, φ_2 gegen F_1, F_2 sehr klein, also annähernd

$$8.\quad \boldsymbol{V = \frac{F_1 + F_2}{2}\, l}.$$

Im Allgemeinen gibt diese Formel zu grosse Werthe.

Hat man die einzelnen Profile gehörig vertikal unter einander gezeichnet, so ist es sehr leicht, die Flächen φ_1, φ_2 abzuschneiden (Taf. III) und als Dreiecke (die man Fehlerdreiecke nennen kann) zu berechnen.

Fig. 68.



b. Wir setzen jetzt voraus, dass die ganze Terrainfläche $CDHG$ (Fig. 68) eine genau windschiefe Fläche sei, welche entsteht, wenn eine Gerade auf den Geraden CG und DH gleitet und dabei einer Vertikalebene parallel bleibt. Wir können alsdann den ganzen Körper nach der Formel 1. berechnen. Wir setzen die vertikalen Höhen $NC = h_1$, $OD = h_2$, $PG = h_3$, $QH = h_4$, die Abstände $AN = a_1$, $BO = a_2$, $EP = a_3$, $FQ = a_4$. Alsdann ist für den Mittelschnitt $RL = \frac{1}{2}(h_1 + h_3)$, $SM = \frac{1}{2}(h_2 + h_4)$, $JR = \frac{1}{2}(a_1 + a_3)$, $KS = \frac{1}{2}(a_2 + a_4)$. Hieraus folgt als Flächeninhalt des Mittelschnittes, die Planiebreite $= b$ gesetzt,

$$\begin{aligned} F &= \tfrac{1}{2} RS\,(RL + SM) - \tfrac{1}{2} JR\,.\,RL - \tfrac{1}{2} KS\,.\,SM \\ &= \tfrac{1}{4}\left[b + \tfrac{1}{2}(a_1 + a_2 + a_3 + a_4)\right].(h_1 + h_2 + h_3 + h_4) \\ &\quad - \tfrac{1}{8}(a_1 + a_3)(h_1 + h_3) - \tfrac{1}{8}(a_2 + a_4)(h_2 + h_4) \\ &= \tfrac{1}{4} b\,(h_1 + h_2 + h_3 + h_4) + \tfrac{1}{8}[(a_1 + a_3)(h_2 + h_4) \\ &\quad + (a_2 + a_4)(h_1 + h_3)]. \end{aligned}$$

Der doppelte Inhalt der Endflächen ist

$$\begin{aligned} 2\,F_1 &= (b + a_1 + a_2)\cdot(h_1 + h_2) - a_1 h_1 - a_2 h_2 \\ &= b\,(h_1 + h_2) + (a_1 h_2 + a_2 h_1), \\ 2\,F_2 &= (b + a_3 + a_4)(h_3 + h_4) - a_3 h_3 - a_4 h_4 \\ &= b\,(h_3 + h_4) + (a_3 h_4 + a_4 h_3), \\ 2\,(F_1 + F_2) &= b\,(h_1 + h_2 + h_3 + h_4) \\ &\quad + (a_1 h_2 + a_2 h_1 + a_3 h_4 + a_4 h_3). \end{aligned}$$

Eliminirt man aus den beiden Gleichungen für F und $2\,(F_1 + F_2)$ das $b\,(h_1 + h_2 + h_3 + h_4)$, so ergibt sich

$$F = \tfrac{1}{2}(F_1 + F_2) - \tfrac{1}{8}[(a_1 - a_3)(h_2 - h_4) + (a_2 - a_4)(h_1 - h_3)].$$

Die Einsetzung in die Gleichung 1. gibt

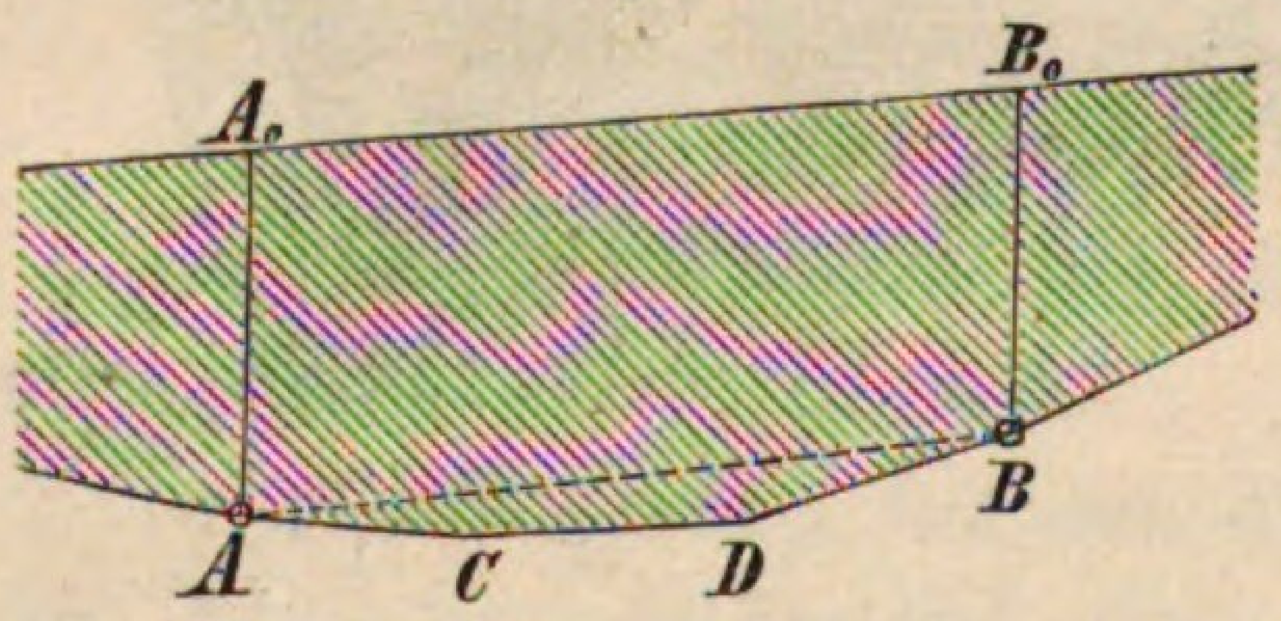
$$9. \quad V = \frac{1}{2}(F_1 + F_2)\, l$$
$$- \frac{1}{12}[(a_1 - a_3)(h_2 - h_4) + (a_2 - a_4)(h_1 - h_3)]\, l.$$

In der Regel wird, wenn $h_1 \gtrless h_3$ ist, auch $h_2 \gtrless h_4$ sein; alsdann ist $\frac{1}{2}(F_1 + F_2)\, l$ zu gross; es kann aber auch $h_1 > h_3$, $h_2 < h_4$ sein, alsdann ist $\frac{1}{2}(F_1 + F_2)\, l$ zu klein, während nach Formel 7. stets $\frac{1}{3}(F_1 + F_2)\, l$ zu gross ist.

Die Formel 9. setzt in beiden Profilen geradlinig begrenztes Terrain voraus, während dasselbe bei der Formel 7. innerhalb der beiden abgeschnittenen Pyramiden beliebig begrenzt sein kann. Die Formel 7. dürfte daher im Allgemeinen eine grössere Genauigkeit gewähren.

§. 55. Korrektion bei nicht geradem Längenprofil. Wenn man den Erdkörper unter der Annahme berechnet, dass die Terrainfläche durch die Bewegung einer Geraden erzeugt werde, das Längenprofil aber zwischen den betreffenden zwei Querschnitten nicht geradlinig ist (Fig. 66), so kann man eine annähernde Korrektion dadurch anbringen, dass man den Inhalt der zwischen der Terrainlinie $ACDB$ des Längenprofiles und der Sehne AB liegenden Fläche $ABDC$ mit der mittleren horizontalen Breite des Erdkörpers am Terrain multiplicirt, und das Produkt dem unter der genannten Annahme berechneten Volumen additiv oder subtractiv hinzufügt.

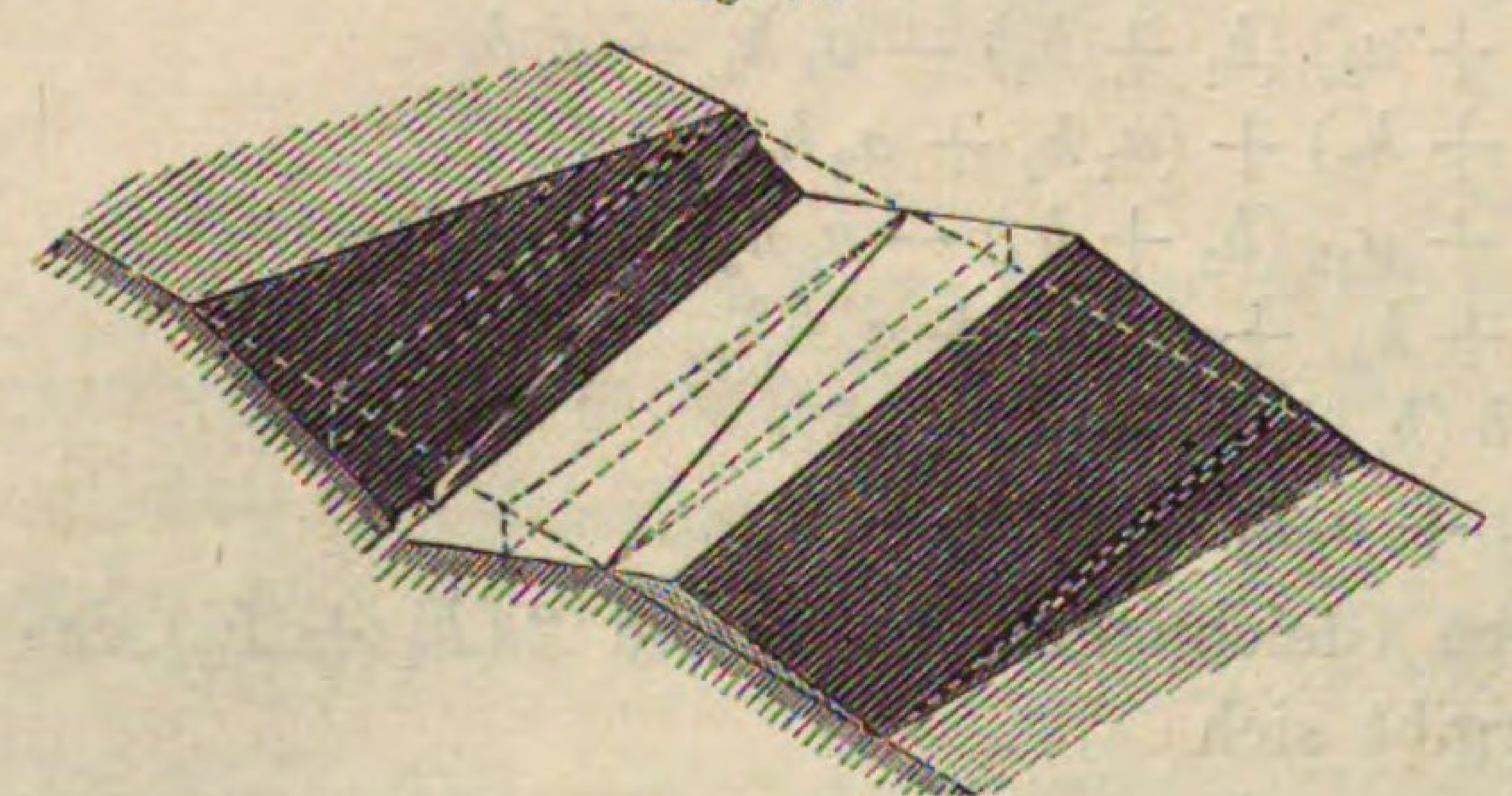
Fig. 69.



Jedenfalls lassen sich die Profile zur Massenberechnung etwas weiter von einander entfernen, wenn man diese Korrektion anbringt.

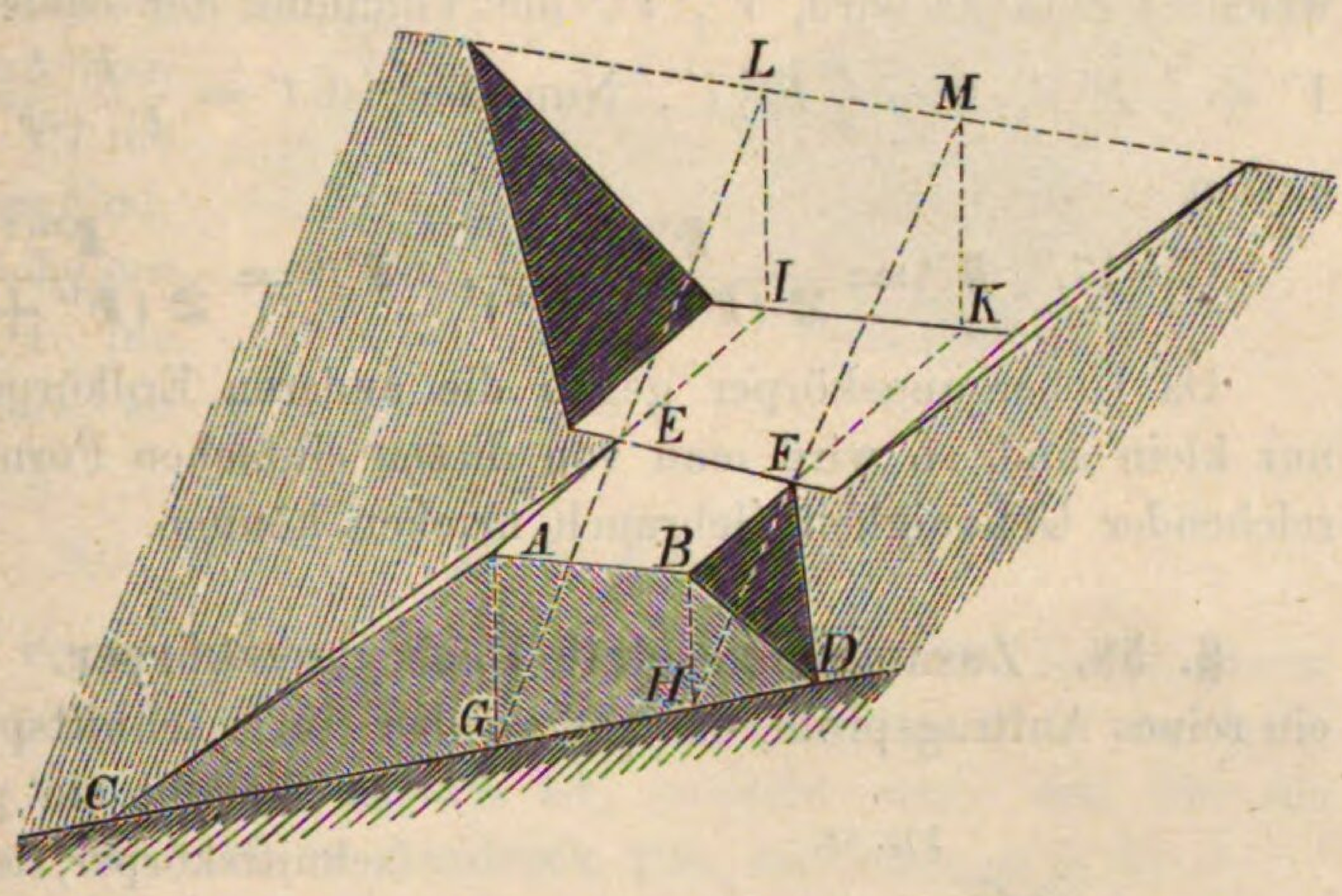
§. 56. Erdkörper in Anschnitten. In Anschnitten ist natürlich jeder der beiden Erdkörper, nämlich der Auftragskörper und der Abtragskörper, gesondert zu berechnen. Am besten wird dies im Allgemeinen nach der in §. 45., a gezeigten Regel (Formel 6) geschehen. Fig. 70 zeigt, in welcher Weise hierbei die Pyramiden abzuschneiden sein würden. In einzelnen Fällen wird man diese Körper auch als abgestumpfte Pyramiden (Formel 1) berechnen können.

Fig. 70.



§. 57. **Einfache Uebergangskörper.** Wenn in einem von zwei auf einander folgenden Profilen nur Auftrag, im andern nur Abtrag stattfindet, so entstehen zwei sogenannte Uebergangskörper (Fig. 71). Wir ermitteln den Inhalt des Auftragskörpers $ABDCEF$.

Fig. 71.



Durch die Vertikalebenen, welche sich durch die Kanten AE und BF legen lassen, wird der Körper in 3 Theile zerlegt. Das Volumen V_1 des mittleren Theiles lässt sich nach der für den windschiefen Keil gültigen Regel 5 berechnen. Setzen wir $AG = y_1$, $BH = y_2$, $AE = l_1$, $BF = l_2$, $AB = b$, so wird $V_1 = \frac{1}{12} b [y_1 (2l_1 + l_2) + y_2 (l_1 + 2l_2)]$. Sind JL, KM die Durchschnitte der durch AE, BF gelegten Vertikalebenen mit der Ebene des hinteren Profils und setzen wir $JL = y_1'$, $KM = y_2'$, $AJ = BK = l$, so wird $l_1 = l \frac{y_1}{y_1 + y_1'}$, $l_2 = l \frac{y_2}{y_2 + y_2'}$, daher $V = \frac{1}{12} bl [y_1 (\frac{2y_1}{y_1 + y_2'} + \frac{y_2}{y_2 + y_2'}) + y_2 (\frac{y_1}{y_1 + y_1'} + \frac{2y_2}{y^2 + y_2'})] = \frac{1}{12} bl [\frac{y_1 (2y_1 + y_2)}{y_1 + y_1'} + \frac{y_2 (y_1 + 2y_2)}{y_2 + y_2'}]$.

Bezeichnet man den Inhalt der seitlichen dreieckigen Flächen ACG und BDH mit φ_1 und φ_2, so ist der Inhalt V_2 der beiden Pyramiden

$$V_2 = \frac{1}{3} (\varphi_1 l_1 + \varphi_2 l_2) = \frac{1}{3} [\frac{y_1 \varphi_1}{y_1 + y_1'} + \frac{y_2 \varphi_2}{y_2 + y_2'}] l.$$

Daher wird nun das gesammte Volumen

15. $$\boldsymbol{V = \frac{1}{12} l \left[\frac{b(2y_1 + y_2) + 4\varphi_1}{y_1 + y_1'} y_1 + \frac{b(y_1 + 2y_2) + 4\varphi_2}{y_2 + y_2'} y_2\right]}.$$

Bei nahezu horizontaler Terrainlinie können wir, wenn h, h' die mittleren Höhen beider Profile bedeuten, $y_1 = y_2 = h$, $y_1' = y_2' = h'$, $\varphi_1 = \varphi_2 = \frac{1}{2} (F - bh)$ setzen. Alsdann wird

16. $$\boldsymbol{V = \frac{2F + bh}{6(h + h')} lh = \frac{1}{6} (2F + bh) l_1}.$$

Es kann die Terrainlinie schon ziemlich stark von der Horizontalen abweichen, ehe sich nach dieser Formel merkliche Differenzen ergeben.

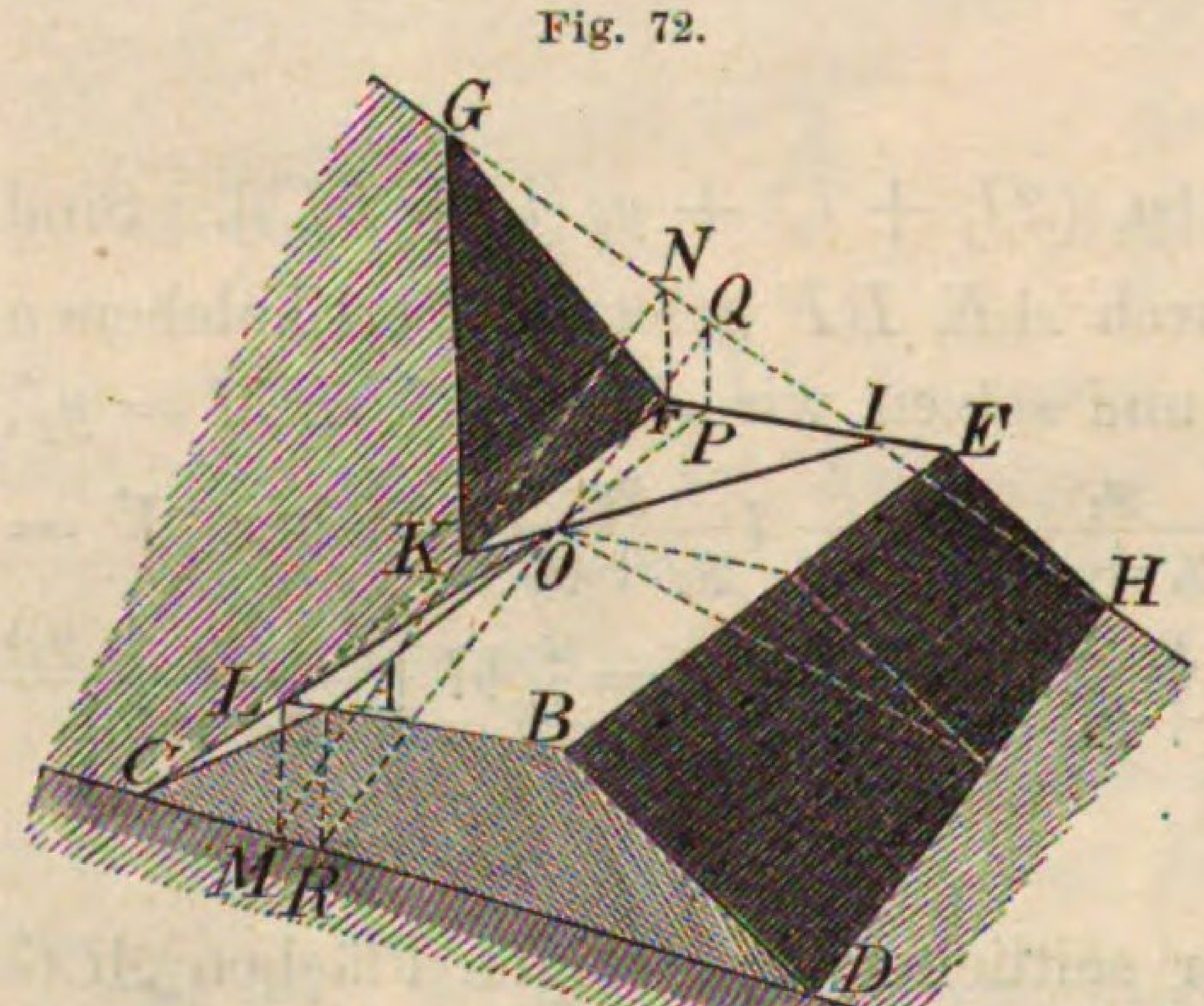
Eine noch einfachere, obwohl weniger genaue Formel ergibt sich unter der Voraussetzung, dass sich F innerhalb der beiden Profile durch einen Ausdruck vom I. Grade oder eine Gerade darstellen lasse. Sind F', F'' die Flächen der beiden Querprofile, l_1', l_2'' die beiden Theile, in welche l getheilt wird, V', V'' die Volumina der beiden Körper, so ist $V' = \frac{1}{2} F' l'$, $V = \frac{1}{2} F'' l''$. Nun aber ist $l' = \frac{F' l}{F' + F''}$, $l'' = \frac{F'' l}{F' + F''}$, mithin

$$17.\quad V' = \frac{F'^2 l}{2(F' + F'')},\quad V'' = \frac{F''^2 l}{2(F' + F'')}.$$

Da Uebergangskörper gegen die anderen Erdkörper in der Regel nur klein sind, so wird man von diesen einfachen Formeln oft mit hinreichender Genauigkeit Gebrauch machen können.

§. 58. Zusammengesetzte Uebergangskörper. Wenn ein Profil ein reines Auftragsprofil, das andere aber ein Anschnittsprofil ist (Fig. 72) so entsteht ein pyramidaler Einschnittskörper, den man am besten als Pyramide berechnen wird. Bezeichnet man die Abtragsfläche GFJ mit F_1, die Länge FK mit l', so ist das Volumen $V = \frac{1}{2} F_1 l'$. Bezeichnet man die in gleichem Abstande von der Bahnaxe in beiden Profilen genommenen Höhen FN und ML mit h, h', so ist $l' = \frac{h}{h + h'} l$, mithin

Fig. 72.



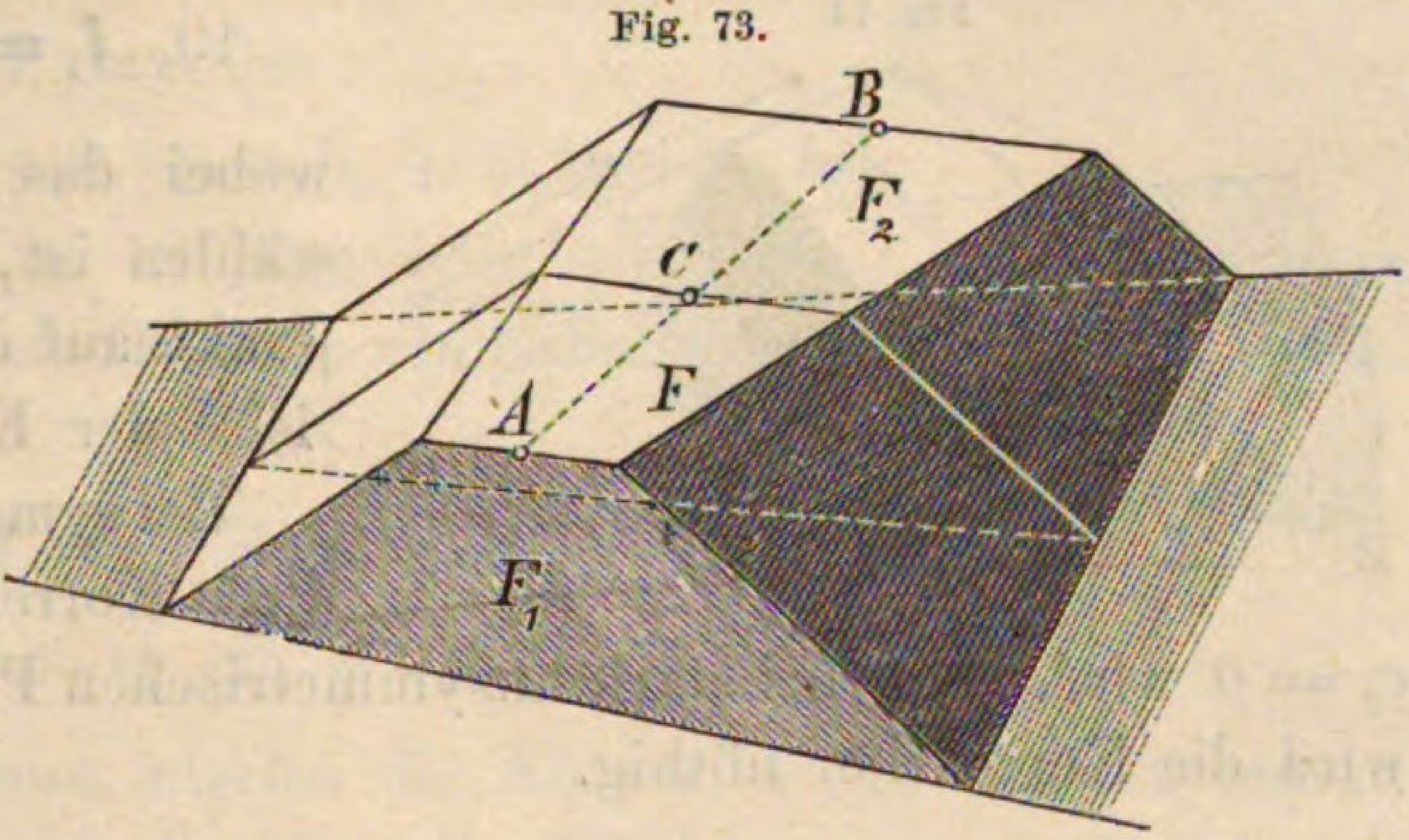
$$18.\quad V = \frac{Flh}{3(h + h')}.$$

Den Auftragskörper zerlegt man am besten durch ein Profil, welches man durch den Durchschnittspunkt O der einen Planiekante mit dem Terrain legt, in zwei Theile und berechnet jeden Theil nach §. 45. für sich. Hierbei ist, wenn man $PQ = h_1$, $AR = h_1'$ setzt, $PO = \frac{l h_1}{h_1 + h_1'}$, $AO = \frac{l h_1'}{h_1 + h_1'}$. Das durch O gelegte Profil wird am besten mit Berücksichtigung des in §. 30. über das Interpoliren eines Profiles Gesagte konstruirt. Hierbei ergibt sich gleichzeitig auch PO und AO.

In gleicher Weise ist natürlich vorzugehen, wenn das eine Profil ein reines Abtragsprofil, das andere ein Anschnittsprofil ist.

§. 59. Erdkörper mit variabeler Breite. Wenn die Breite der Planie eine variabele Breite, aber eine geradlinige Begrenzung hat (Fig. 73), so kann man den Körper als Prismatoid berechnen, wenn sich die Grundfläche durch die Bewegung einer Geraden erzeugen lässt. Sind F_1, F_2 die Flächen der beiden Endprofile, F die Fläche des Mittelschnittes, l die Länge des Körpers, so ist nach Formel 2:

Fig. 73.



$$20. \quad \boldsymbol{V = \frac{1}{6}\, l\, (F_1 + 4F + F_2)}.$$

Dieselbe Formel ergibt sich auch nach der Simpson'schen Regel, wenn die Planie nicht geradlinig begrenzt und die Grundfläche nicht durch die Bewegung einer Geraden entstanden ist, sondern wenn sich nur die Querschnittsfläche durch einen Ausdruck von der Form $a + bx + cx^2$ darstellen lässt, so dass man diese Regel fast in allen Fällen wird anwenden können, wenn der Körper verhältnissmässig kurz ist. Längere Körper sind in Theilen zu berechnen oder es sind die in §. 49 für Flächen aufgestellten Regeln zur Volumensberechnung zu benutzen, wobei nur die Ordinaten durch die Querschnittsfläche zu ersetzen sind.

Berechnet man den Körper, wie dies häufig geschieht, nach der Näherungsregel $V = \frac{1}{2}(F_1 + F_2)\, l$, so erhält man das Volumen um

$$\frac{1}{3}(F_1 + F_2 - 2F)\, l$$

zu gross. Berechnet man dagegen den Körper nach der Näherungsregel $V = Fl$, so erhält man das Volumen um

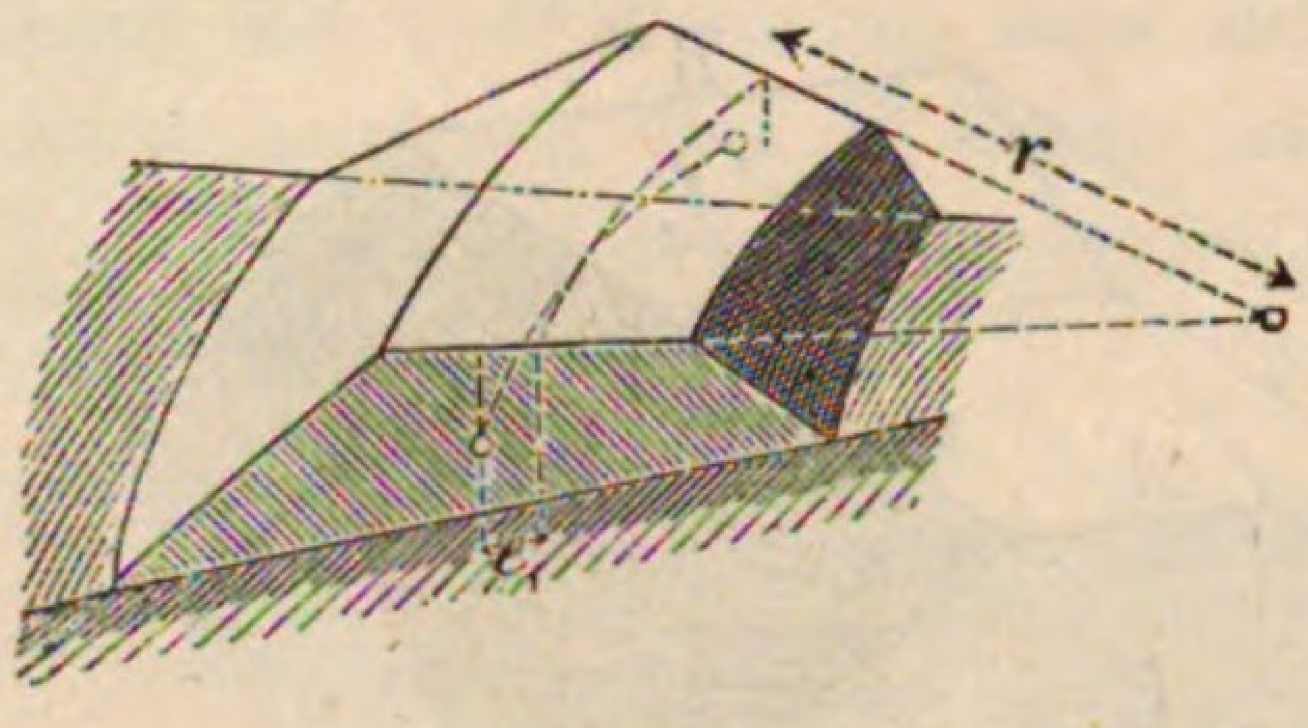
$$\frac{1}{6}(F_1 + F_2 - 2F)$$

zu klein. Die letztere Regel ist indess genauer, als die erstere, da hier der Fehler nur halb so gross ist.

§. 60. Erdkörper in Krümmungen. Bisher wurde vorausgesetzt, dass der zu berechnende Erdkörper in einer geraden Strecke liege. Jedoch können die gefundenen Regeln beibehalten werden, wenn man dabei Rücksicht auf die Guldin'sche Regel nimmt, nämlich als Länge des Körpers die Länge der Kurve einführt, in welcher die Schwerpunkte der einzelnen Profile liegen. Ist die Länge dieser Kurve l_1, die Länge in der Bahnaxe gemessen l, der Radius der Bahnaxe r und der Horizontal-

abstand der Schwerpunkte der beiden Endprofile von der Bahnaxe e_1, e_2 (Fig. 74), so ist sehr nahe $l_1 : l = r \pm \frac{1}{2}(e_1 + e_2) : r$, also

Fig. 74.



$$19. \quad l_1 = l\left(1 \pm \frac{e_1 + e_2}{2r}\right),$$

wobei das Zeichen + oder — zu wählen ist, je nachdem der Schwerpunkt auf der äusseren oder inneren Seite der Krümmung liegt.

Bei symmetrischen Profilen kommt diese Korrektion in Wegfall, da $e_1 = e_2 = 0$ wird. Nur bei stark unsymmetrischen Profilen und kleinen Radien wird die Korrektion nöthig.

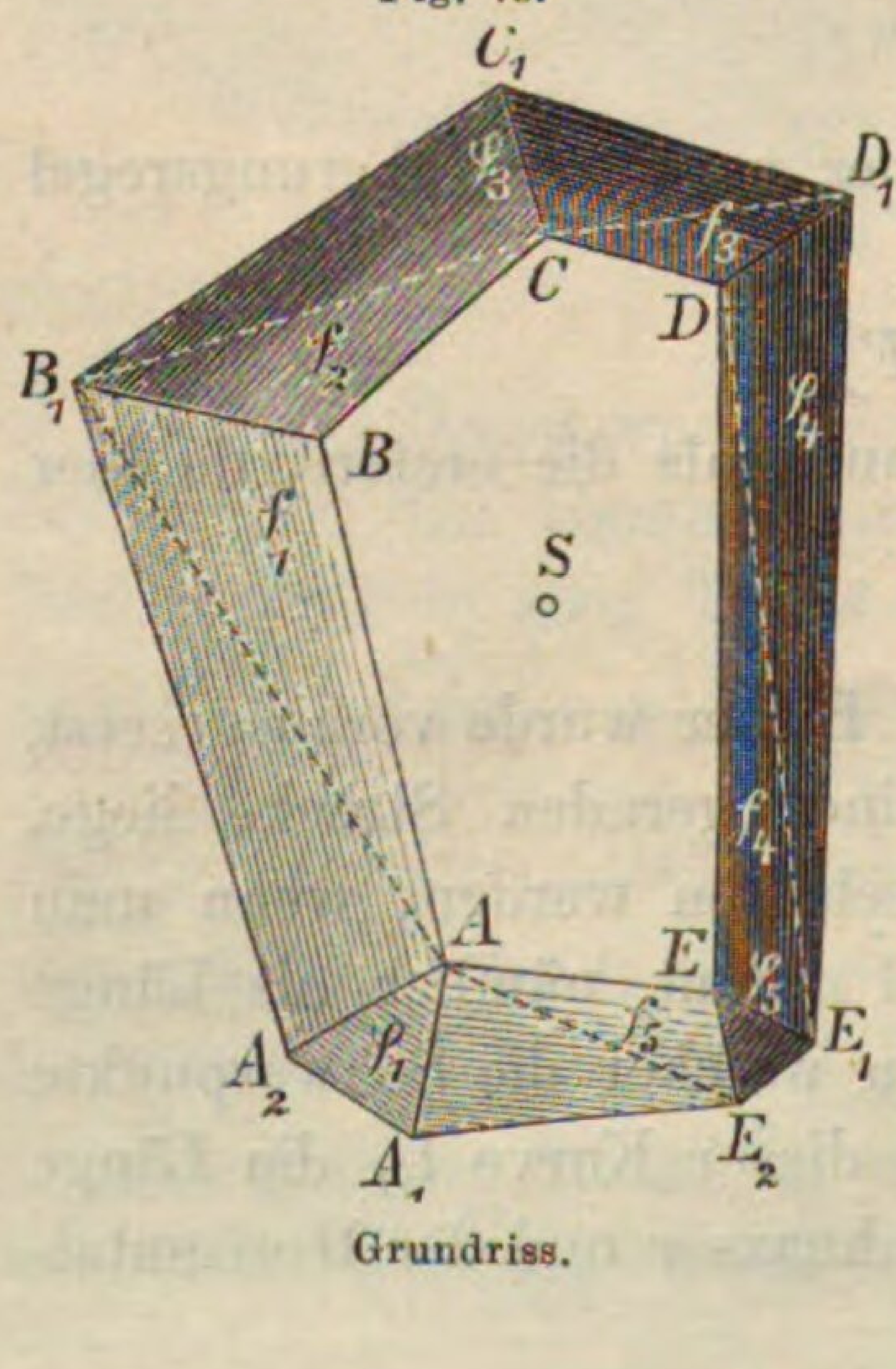
§. 61. Gräben. Das Volumen der Gräben kann man entweder für sich berechnen, wobei es, falls der Querschnitt nicht konstant sein sollte, genügen wird, das arithmetische Mittel aus beiden Profilen mit der Länge zu multipliciren, oder man kann das Grabenprofil schon bei der Flächenbestimmung zum übrigen Theile des Profils hinzunehmen.

§. 62. Erdkörper mit polygonaler Grundfläche. Im Allgemeinen erscheint es hier am rathsamsten, durch die Seiten der oberen ebenen Fläche $ABCDE$ Vertikalebenen zu legen; das Volumen v des hierdurch getrennten mittleren Körpers ist bei ebenem Terrain

$$v = Fh,$$

wenn F die Fläche der Horizontalprojektion der oberen Fläche, h die am Schwerpunkte S gemessene Höhe bedeutet. Diese Formel gilt auch noch genau oder annähernd, wenn die obere Fläche sich einem Trapeze nähert und das Terrain als windschiefe Fläche angesehen werden kann.

Fig. 75.



Grundriss.

Die noch übrigen seitlichen Theile zerlegt man durch vertikale Diagonalebenen in dreiseitige Prismen und Pyramiden. Nimmt man die Zerlegung nach Fig. 75 vor, und bezeichnet hierbei im Grundrisse die Flächen ABB_1, BB_1C, CDD_1, DEE_1 und AEE_2 mit f_1, f_2, . . f_5, die Flächen $E_2A_1A_2B_1A$, $B_1C_1D_1C$, DD_1E_1 und EE_1E_2 mit φ_1, φ_3, φ_4, φ_5, endlich die Höhen in den Ecken A, B, C, D, E mit h_1, h_2, . . . h_5, so ist das Volumen v_2 der Prismen

$$v_1 = \tfrac{1}{3} [f_1 (h_1 + h_2) + f_2 (h_2 + h_3) + f_3 (h_3 + h_4) + f_4 (h_4 + h_5) + f_5 (h_5 + h_1)]$$

und das Volumen v_2 der Pyramiden

$$v_3 = \tfrac{1}{3} (\varphi_1 h_1 + \varphi_3 h_3 + \varphi_4 h_4 + \varphi_5 h_5).$$

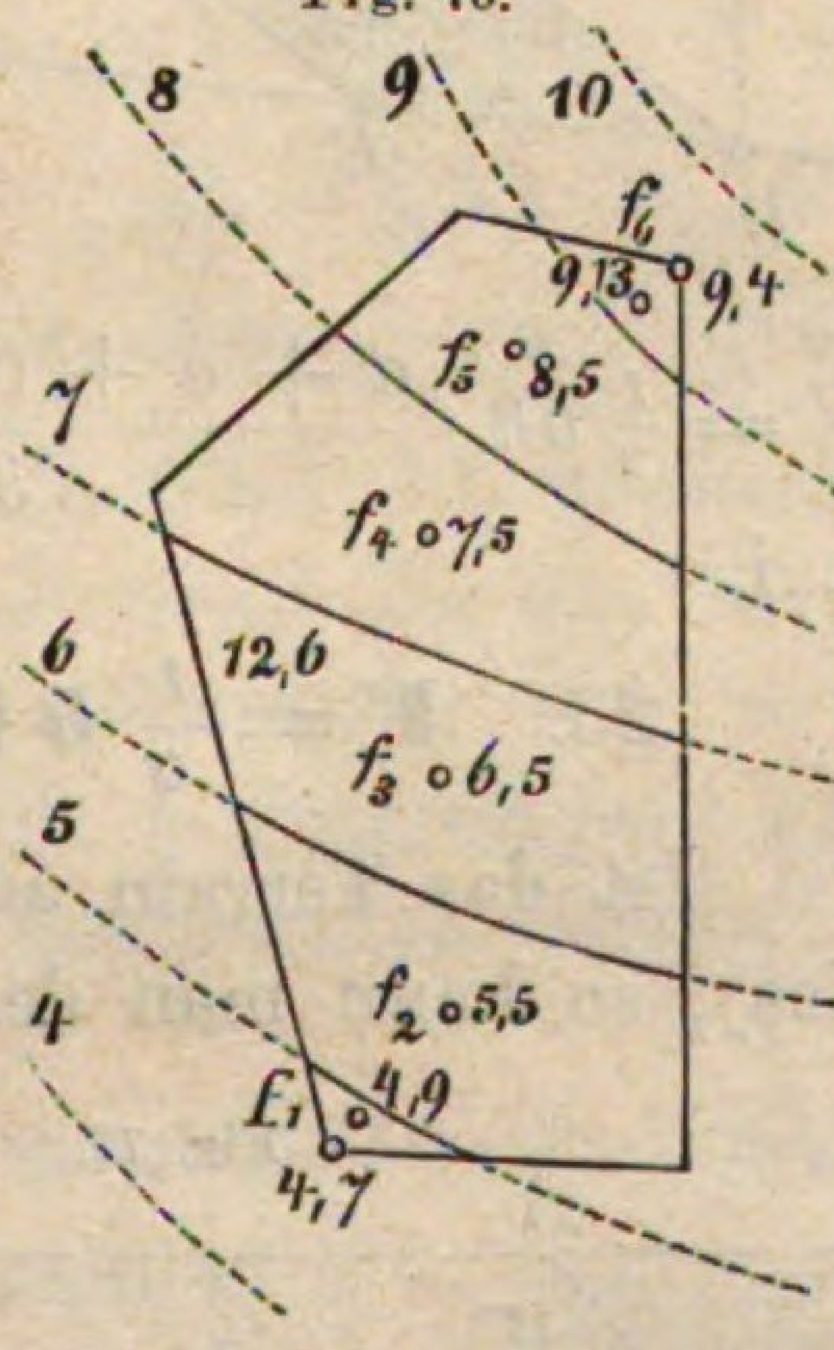
Das gesammte Volumen V ist nun $= v + v_1 + v_2$. Ist die untere Fläche der oberen parallel oder sind die sämmtlichen Höhen einander gleich, so wird

$$21. \quad \boldsymbol{V = \tfrac{1}{3} h [3 F + 2 (f_1 + f_2 + f_3 + f_4 + f_5) + (\varphi_1 + \varphi_3 + \varphi_4 + \varphi_5)]}.$$

In der Parenthese erscheinen hierbei die Körper, welche in der oberen Fläche einen Punkt, eine Gerade oder eine Fläche haben, bezüglich mit den Faktoren 1, 2 und 3. Man kann in diesem Falle aber auch den Körper als Prismatoid nach der Formel 2 (S. 72.) berechnen, indem man aus dem Grundrisse den Flächeninhalt der oberen und unteren Fläche und des Mittelschnitts bestimmt.

Ist die Terrainfläche durch einen Schichtenplan gegeben, so wird man die mittleren Körper v im Allgemeinen dadurch berechnen, dass man die über den einzelnen durch die Schichtenkurven getrennten Flächen stehenden Prismen berechnet, indem man die Grundfläche mit einer mittleren Höhe multiplicirt. Die letztere wird meist als arithmetisches Mittel zwischen den Höhen der entsprechenden Schichtenkurven eingeführt, in einzelnen Fällen indess abgeschätzt werden müssen. Beispielsweise wird in Fig. 76., wenn $f_1, f_2, \ldots$ die einzelnen Flächen und die Höhen über dem angenommenen Horizonte die in der Figur eingeschriebenen sind, $v = f_1 (12{,}6 - 4{,}9) + f_2 (12{,}6 - 5{,}5) + f_3 (12{,}6 - 6{,}5) + f_4 (12{,}6 - 7{,}5) + f_5 (12{,}6 - 8{,}5) + f_6 (12{,}6 - 9{,}13) = f \cdot 12{,}6 - (f_1 \cdot 4{,}9 + f_2 \cdot 5{,}5 + f_3 \cdot 6{,}5 + f_4 \cdot 7{,}5 + f_5 \cdot 8{,}5 + f_6 \cdot 9{,}13)$, wobei f die ganze Grundfläche bedeutet.

Fig. 76.

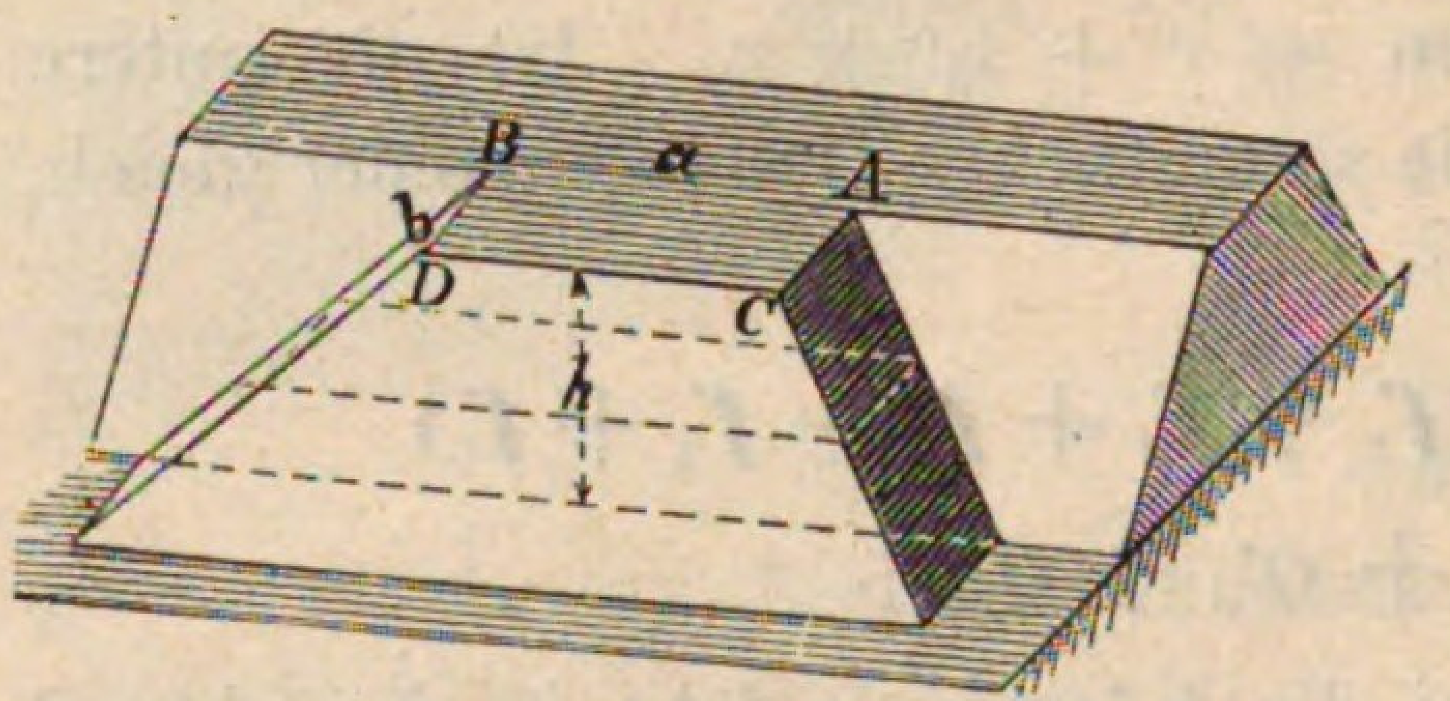


Sind nur einzelne Höhenkoten des Terrains gegeben, so müsste man den mittleren Körper in dreiseitige Prismen zerlegen, deren vertikale Kanten durch die Ecken der Grundfläche und die kotirten Punkte gehen und jedes Prisma nach §. 50 berechnen.

Bei den seitlichen, unter den Böschungen liegenden Theilen wird im Allgemeinen die im Obigen angegebene Berechnung beibehalten werden können, nöthigenfalls sind diese Körper der Gestaltung des Terrains entsprechend in mehrere Theile zu zerlegen.

Schliesst sich ein solcher Körper an einen besonders berechneten anderen Erdkörper an, so kann dieselbe Berechnungsweise beibehalten werden, nur ist der unter der dem letzteren Körper angehörigen Böschung liegende prismatische Körper negativ einzuführen.

Fig. 77.

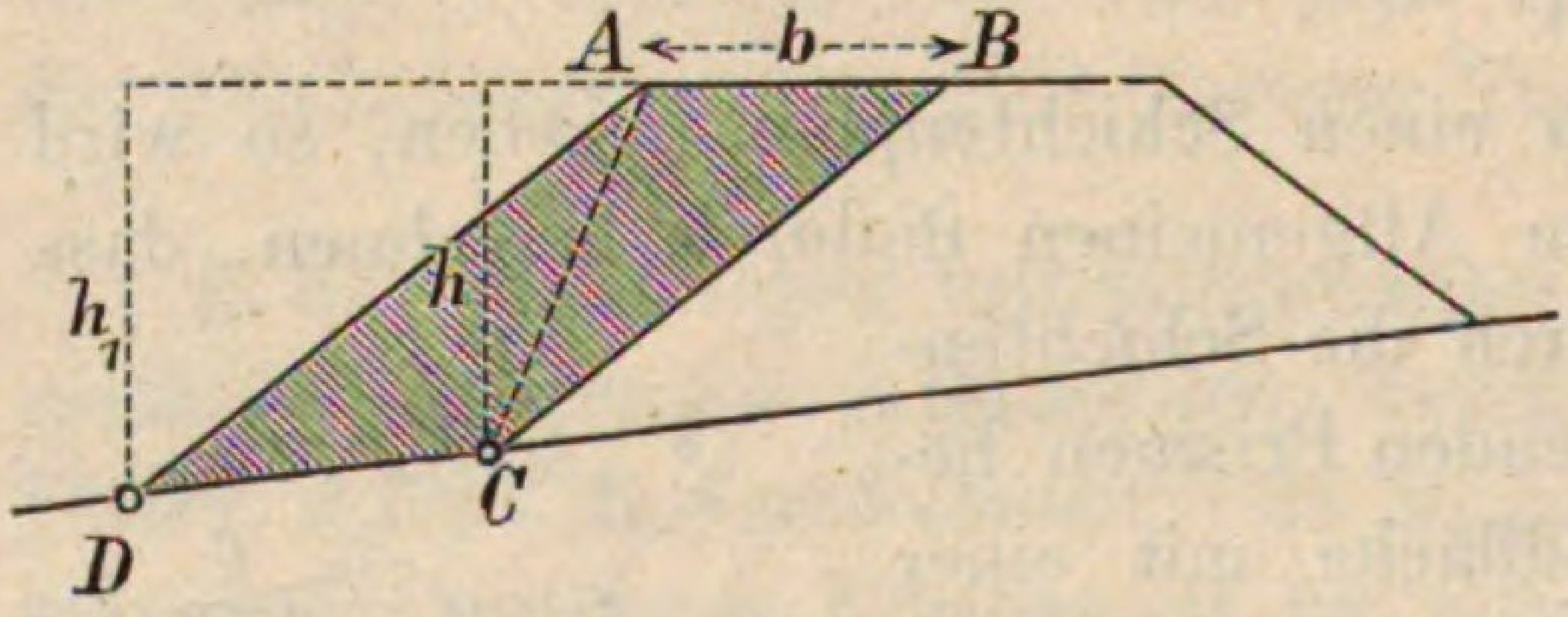


In dieser Weise werden z. B. die Wächterhausbankette zu berechnen sein. Ist die obere Fläche oder das Planum ein Rechteck mit der Länge a und Breite b (Fig. 77) und das Terrain horizontal, so wird bei der Höhe h und dem Böschungsverhältnisse m

$$22. \quad \boldsymbol{V = b\,h\,(a + m\,h)}.$$

Ist dagegen das Terrain geneigt, im Längenprofile indess der Planielinie parallel, so dass der fragliche Körper als Prisma mit trapezförmigem Querprofile $ABCD$ (Fig. 78) erscheint, so erhält man, wenn man den Körper durch eine Diagonalebene AC in zwei dreiseitige Prismen zerlegt und die Höhen in C und D mit h und h_1 bezeichnet,

Fig. 78.



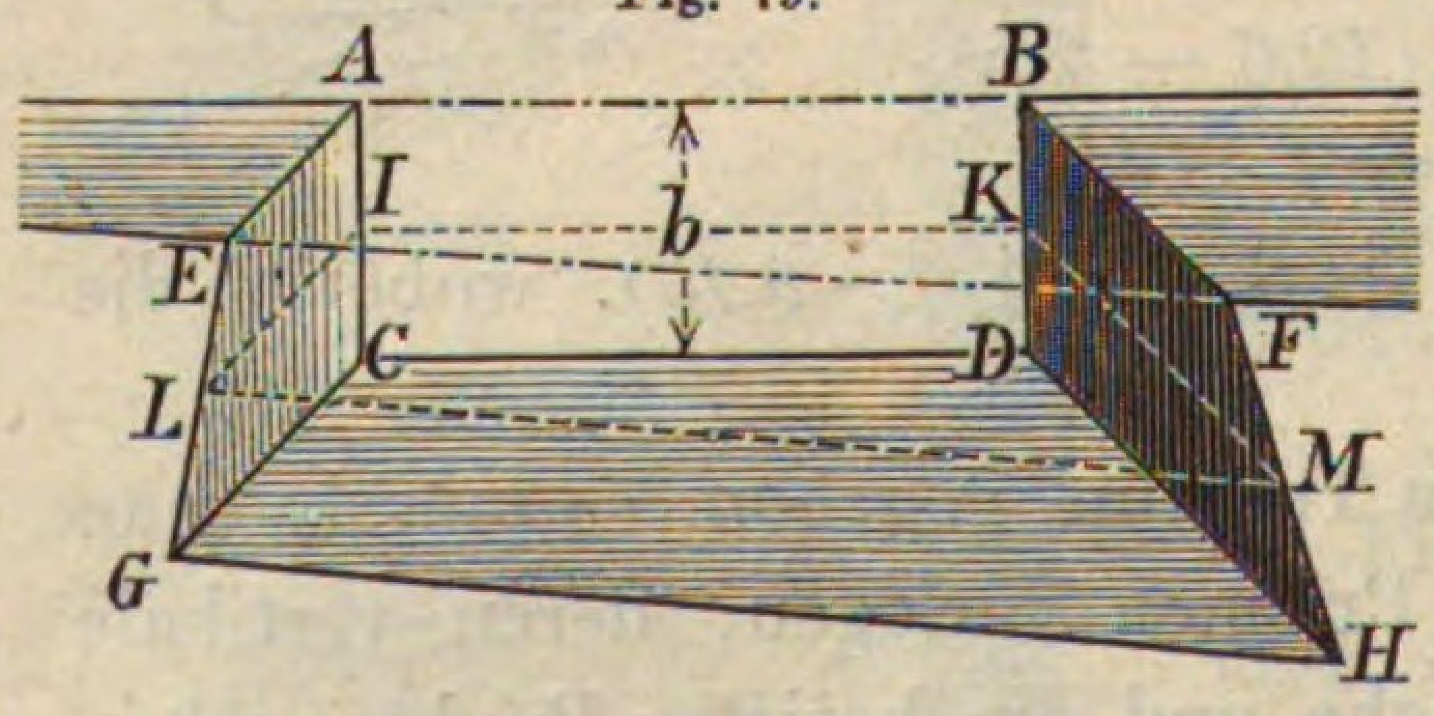
$$V = \tfrac{1}{2}\,bh \cdot \frac{a + a + (a + 2mh)}{3} + \tfrac{1}{2}\,bh_1\,\frac{a + (a + 2mh) + (a + 2mh_1)}{3},$$

d. i.

$$23. \quad \boldsymbol{V = \tfrac{1}{6}\,b\,[3\,a\,(h + h_1) + 2\,m\,(h^2 + hh_1 + h_1^2)]}.$$

Ist das Terrain auch in der Längsrichtung geneigt (Fig. 79, Grundriss), so kann man den Körper meist als Prismatoid betrachten, dessen Grundflächen die Böschungsflächen $ABFE$ und $CDHG$ sind. Bezeichnet man die Horizontalprojektionen dieser Böschungsflächen und des Mittelschnittes $IKML$ mit f_1, f_2, f, so sind die wirklichen Grundflächen $f_1 \sec\alpha$, $f_2 \sec\alpha$, $f \sec\alpha$ und die Höhe $b \sin\alpha$, mithin

Fig. 79.

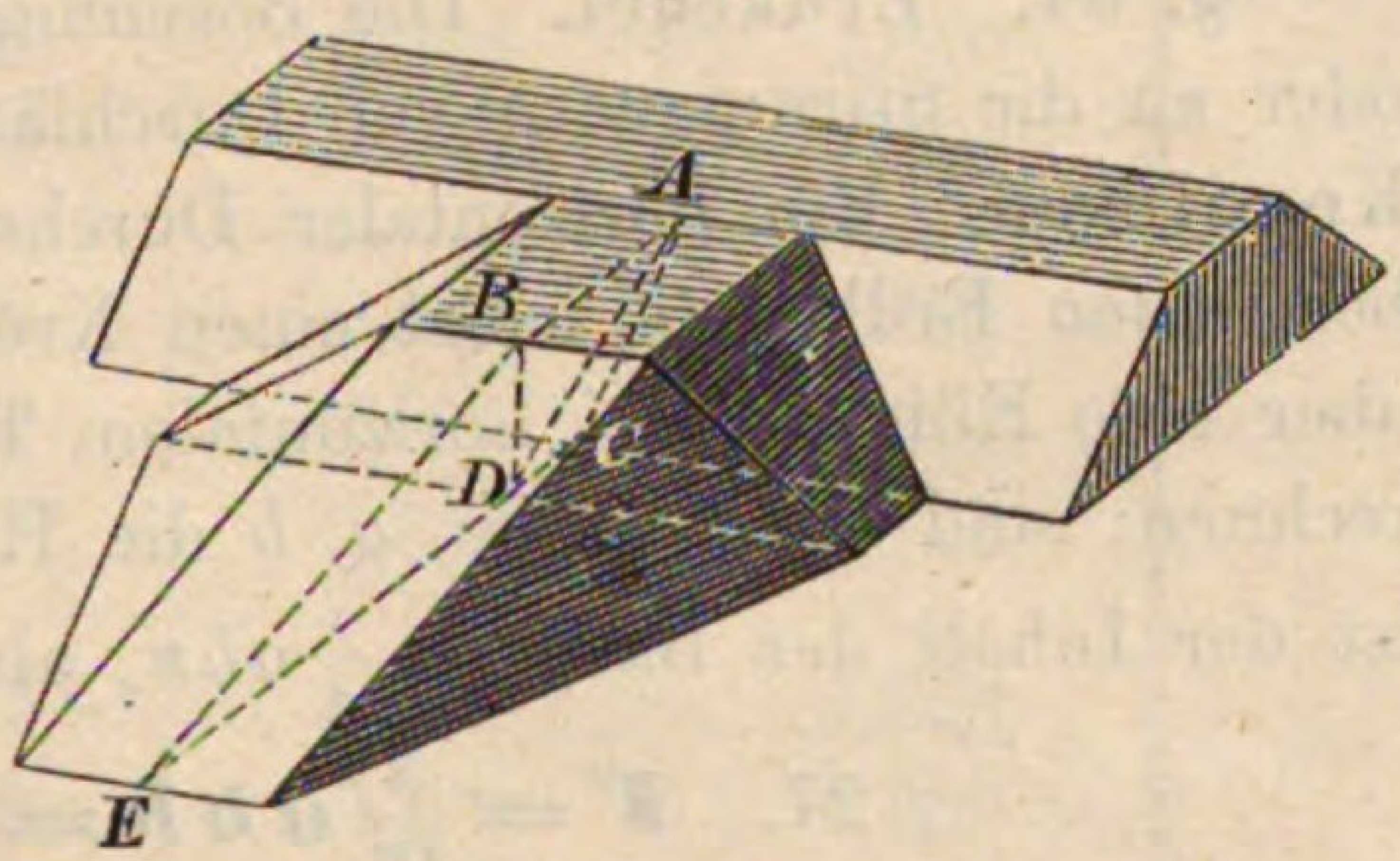


$$24. \quad \boldsymbol{V = \frac{b}{6\,m}\,(f_1 + 4\,f + f_2)}.$$

§. 63. Rampen. Zur Ueberführung von Strassen sind oft sogen. Rampen nöthig. Wir setzen zunächst voraus, dass das Terrain hori-

zontal sei und die Strasse die Eisenbahn rechtwinklig schneide. Die Strassenplanie sei auf die Länge a zunächst der Bahn horizontal (Fig. 80) und von hieraus auf die Länge l geneigt; die Dammhöhe sei $= h$, die Breite der Strassenplanie $= b$ und das Böschungsverhältniss für die Eisenbahn m, für die Strasse m_1. Wir zerlegen den Rampenkörper in drei dreiseitige Prismen mit den Querschnitten $ABD = \frac{1}{2}\, ah$, $ACD = \frac{1}{2}(a - mh)h$ und $BDE = \frac{1}{2}\, lh$; die Längen der Seitenkanten sind b und $b + 2m_1 h$. Daher wird das Volumen $V = \frac{1}{2}\, ah \,.\, \frac{1}{3}\, [b + b + (b + 2m_1 h)] + \frac{1}{2}\, (a - mh)\, h \,.\, \frac{1}{3}\, [b + (b + 2m_1 h) + (b + 2m_1 h)] + \frac{1}{2}\, lh \,.\, \frac{1}{3} [b + b + (b + 2m_1 h)]$ oder

Fig. 80.



$$25.\quad \boldsymbol{V = \frac{1}{6}\, h\, [(a + l)\, (3\, b + 2\, m_1\, h) + (a - m\, h)\, (3\, b + 4\, m_1\, h)].}$$

Hiernach wird für

$m = m_1 = \frac{3}{2}$: $\quad V = \frac{1}{2}\, h \left[(b + h)\, l + 2ab + 3ah - \frac{3}{2}\, bh - 3h^2\right]$,

$m = \frac{3}{2}, m_1 = \frac{5}{4}$: $\quad V = \frac{1}{2}\, h \left[(b + \frac{5}{6}h) l + 2ab + \frac{5}{2}ah - \frac{3}{2}\, bh - \frac{5}{2}\, h^2\right]$,

$m = m_1 = \frac{5}{4}$: $\quad V = \frac{1}{2}\, h \left[(b + \frac{5}{6}\, h) l + 2ab + \frac{5}{2}\, ah - \frac{5}{4}\, bh - \frac{25}{12}\, h^2\right]$,

$m = m_1 = 1$: $\quad V = \frac{1}{2}\, h \left[(b + \frac{2}{3} h)\, l + 2ab + 2ah - bh - \frac{4}{3}\, h^2\right]$.

Hierbei ist vorausgesetzt, dass das horizontale Stück AB mindestens bis zum Fusse der Böschung des Eisenbahndammes reicht. Ist das Terrain nicht horizontal, aber in der Richtung der Strasse geradlinig, so genügt es meist, die bei B stattfindende Höhe für h einzuführen, wobei nur ein kleiner Fehler in dem meist kurzen horizontalen Stücke entstehen wird.

Ist gar kein horizontales Stück vorhanden, so geht der Längsschnitt der Rampe in ein Dreieck mit dem Flächeninhalte $\frac{1}{2}\, (l - mh)\, h$ über und das Volumen wird alsdann $V = \frac{1}{2}\, (l - mh)\, h \,.\, \frac{1}{3}\, [b + b + (b + 2m_1 h)]$ oder

$$26.\quad \boldsymbol{V = \frac{1}{6}\, h\, (l - m\, h)\, (3\, b + 2\, m_1\, h).}$$

Diese Formel gilt auch, wenn das Terrain in Richtung der Strasse geneigt ist.

Wenn sich die Strasse und Eisenbahn nicht rechtwinklig schneiden, so geben die vorstehenden Formeln ziemlich genaue Werthe, wenn man die Längen a und l in der Mitte der Strassenplanie misst.

Ist das Längenprofil des Terrains in der Strassenrichtung nicht ge-

radlinig, wie hier vorausgesetzt wurde, so ist das Volumen der Rampe stückweise wie jeder andere Auf- oder Abtrag zu berechnen.

Liegt in dem einen der vier Winkel, welchen die Strasse mit der Eisenbahn bildet, ein Bankett für das Bahnwächterhaus, so ist das Volumen desselben gleich dem Produkte aus dem Flächeninhalte des Planums und der mittleren Höhe anzunehmen.

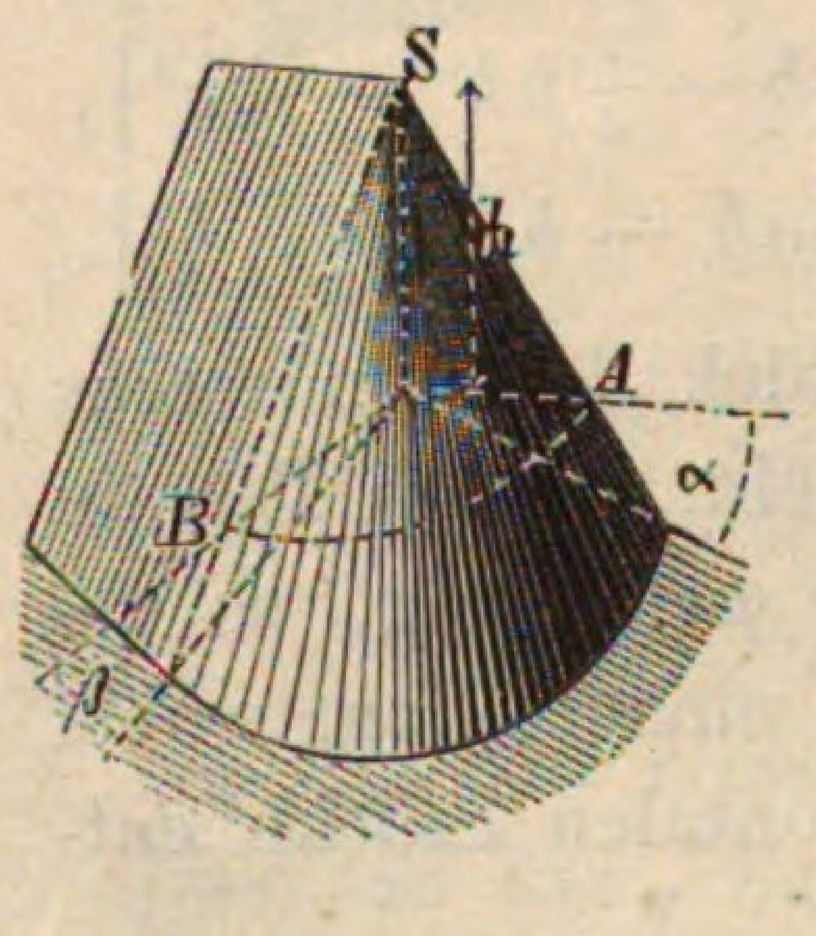
§. 64. Erdkegel. Die Böschungen schliesst man an Futtermauern oder an die Stirnmauern von Durchlässen und Brücken oft in Form von Kegeln an. Ein horizontaler Durchschnitt eines solchen Kegels bildet bei reinen Erdkegeln meist einen Kreis, bei Kegeln aus Steinschüttung aber eine Ellipse. Bei horizontalem Terrain ist der Inhalt leicht zu berechnen; sind h die Höhe, a, b die Halbaxen der elliptischen Basis, so ist der Inhalt der Basis $= \frac{1}{4} ab\pi$, also das Volumen des Kegels

$$27. \quad \boldsymbol{V = \frac{\pi}{12} abh = 0{,}2618\, abh.}$$

Sind m, m_1 die Böschungsverhältnisse für zwei Schnitte in Richtung der Bahnaxe und senkrecht hierzu, so ist $a = mh$, $b = m_1 h$, mithin

$$28. \quad \boldsymbol{V = \frac{\pi}{12} m m_1 h^3.}$$

Fig. 81.



Wenn das Terrain geneigt ist (Fig. 81), so ist der Ausdruck für das Volumen sehr komplicirt. Als Näherungsausdruck ergibt sich bei sehr flach geneigtem Terrain, wenn α, β die Neigungswinkel in der Quer- und Längsrichtung des Dammes bedeuten,

$$29. \quad \boldsymbol{V = \frac{1}{6} m m_1 h^3 \left(\frac{\pi}{2} + 2 m \tan\alpha + 2 m_1 \tan\beta\right).}$$

Diese Formel kann man mit hinreichender Genauigkeit bis zu Terrainneigungen von etwa *0,15* verwenden.

Hat man die Horizontalprojektion des Durchschnittes der Kegelfläche mit dem Terrain bestimmt, so findet man das Volumen nach §. 51 durch Multiplikation dieser Horizontalprojektion mit einem Drittheil der vertikalen Höhe (zwischen Spitze und Terrainfläche). Für einzelne specielle Fälle hat diese Berechnungsweise die in der folgenden Tabelle enthaltenen Werthe von c gegeben, wenn man

$$V = ch^3$$

setzt.

	$\tan\beta =$	$\tan\alpha = 0$	$\tan\alpha = 0,2$	$\tan\alpha = 0,4$
$m = 1,5$ $m_1 = 0,5$	0 0,2 0,4	0,196 0,238 0,269	0,296 0,361 0,430	0,662 0,801 1,014
$m = 1,5$ $m_1 = 1,0$	0 0,2 0,4	0,393 0,518 0,775	0,619 0,854 1,309	1,319 1,938 3,484
$m = 1,5$ $m_1 = 1,5$	0 0,2 0,4	0,589 0,941 1,981	0,941 1,095 3,754	1,981 3,754 13,754
$m = 1,0$ $m_1 = 0,5$	0 0,2 0,4	0,131 0,150 0,175	0,174 0,199 0,237	0,253 0,300 0,358
$m = 1,0$ $m_1 = 1,0$	0 0,2 0,4	0,262 0,345 0,507	0,345 0,468 0,701	0,507 0,701 1,111
$m = 0,5$ $m_1 = 0,5$	0 0,2 0,4	0,065 0,076 0,085	0,076 0,085 0,100	0,085 0,100 0,117

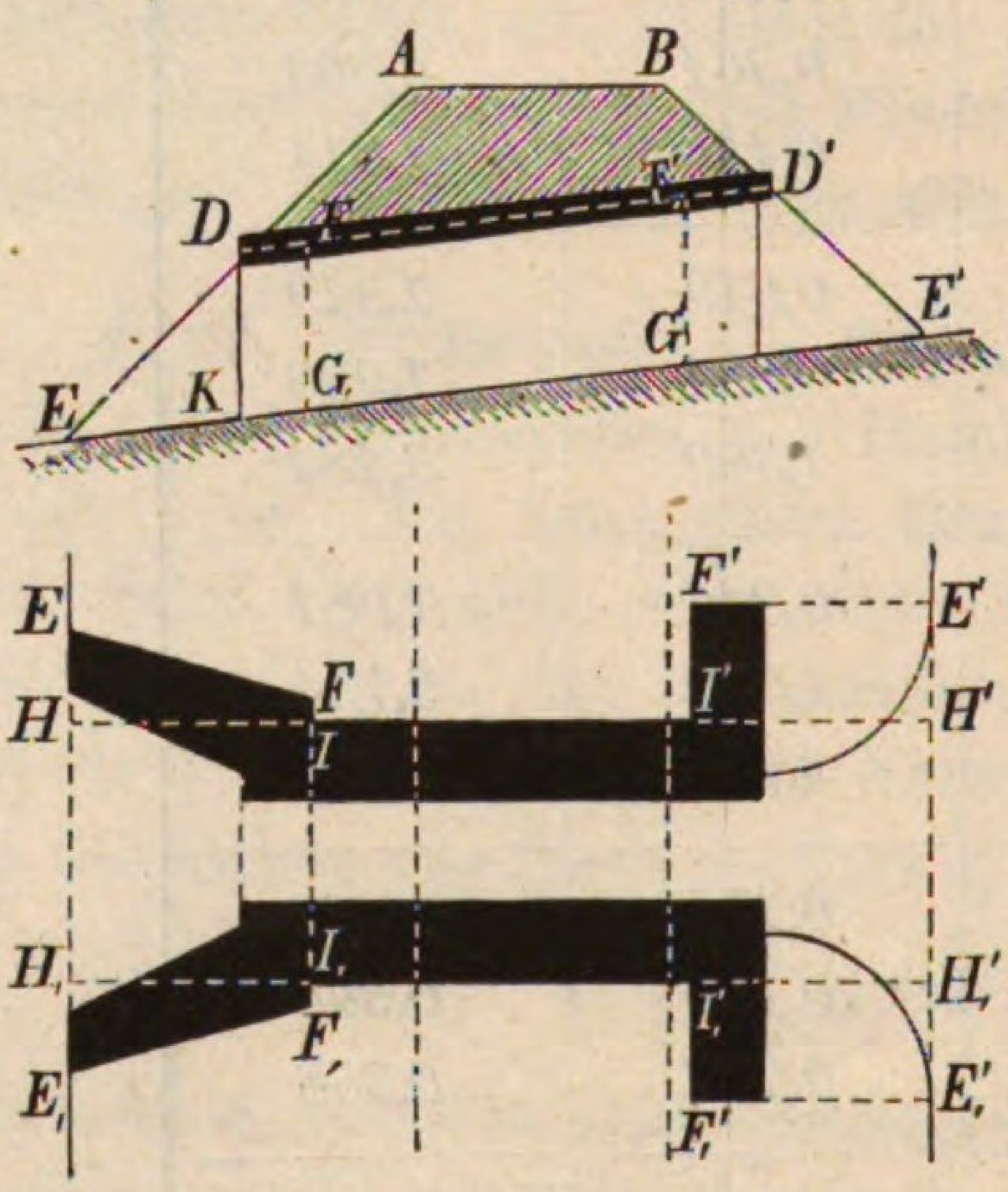
§. 65. Berücksichtigung der Durchlässe. Die Erdersparniss bei Durchlässen lässt sich in verschiedener Weise berücksichtigen. Am besten dürfte es sein, die auf beiden Seiten des Durchlasses liegenden Erdkörper durch zwei Profile zu begrenzen, welche mit den Hinterflächen der Widerlager zusammenfallen. Die über dem Durchlasse liegende Erdmasse bestimmt man leicht, indem man im Längenprofile eine ausgleichende Gerade CC' (Fig. 82) und die entsprechende Gerade DD' im Querprofile zieht und nun den Flächeninhalt des Vierecks $ABD'D$ mit CC' multiplicirt. Es tritt hierbei nahezu auch ein Ausgleich hinsichtlich der Flügelmauern und Erdkegel ein.

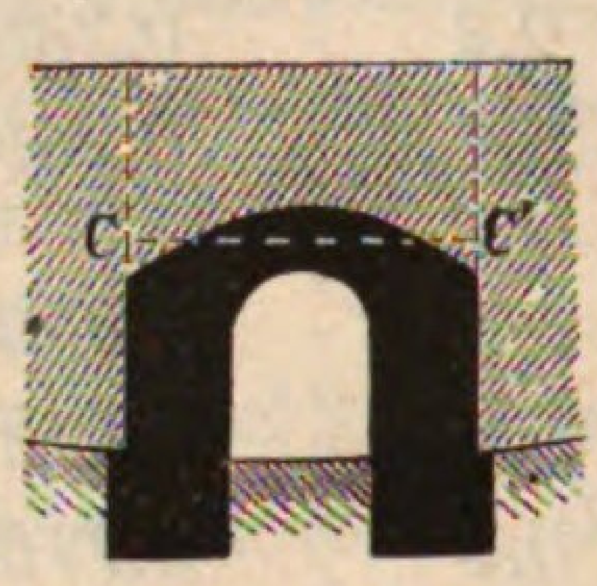
Will man die Flügelmauern besonders berücksichtigen, so hat man den Körper HH_1J_1J (Grundriss) zu addiren und den Körper EE_1F_1F (Grundriss) zu subtrahiren. Bezeichnet man die Fläche $EDFG$ (Aufriss) mit f, die Fläche $DFGK$ mit f_1, und setzt $HH_1 = a$, $EE_1 = b$, $FF_1 = c$, so ist die zu subtrahirende Grösse $V = (f - f_1)\frac{1}{3}(b + 2c) + f_1 c - fa$ oder

$$30. \quad \boldsymbol{V = \frac{1}{3} f (b + 2c - 3a) - \frac{1}{3} f_1 (b - c).}$$

Sind Erdkegel vorhanden, so ist der Körper $H'H_1'J_1'J'$ (Grundriss) zu addiren und der Körper $E'E_1'F_1'F'$ (Grundriss) zu subtrahiren, ausserdem das Volumen beider Kegel zu addiren. Bezeichnet man die Fläche $E'D'F'G'$ (Aufriss) mit f und setzt $H'H_1' = a$, $E'E'_1 = b$ und das Volumen eines Kegels $= k$, so ist die zu subtrahirende Grösse $V = fb - fa - 2k$ oder

Fig. 82.





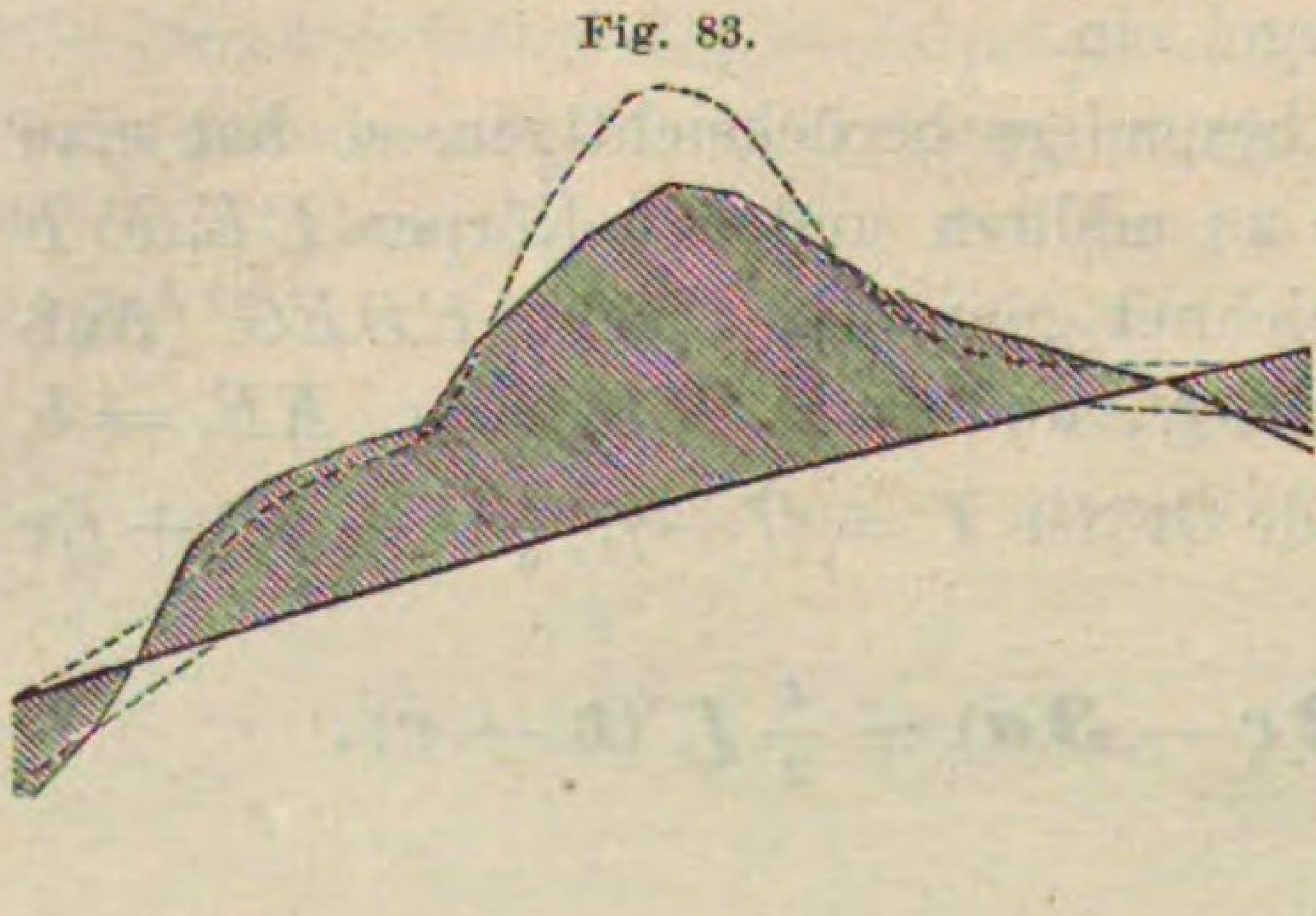
$$\text{31.} \quad \boldsymbol{V = f\,(b - a) - 2k}.$$

Statt dieses Verfahrens bestimmt man auch wohl das Volumen des Auftrages zunächst ohne Rücksicht auf den Durchlass und zieht nachträglich das durch den Durchlass ersparte Auftragsvolumen ab. Dies ist indess insofern weniger zweckmässig, als man hierbei die Form der unter dem Durchlasse liegenden, meist stark gekrümmten Terrainfläche berücksichtigen muss. Nur bei mehr oberflächlichen Berechnungen für Vorprojekte ist dieses Verfahren vorzuziehen.

§. 66. Volumenbestimmung aus dem Längenprofile und Situationsplane. Die bisher mitgetheilten Methoden der Massenberechnung setzen meist das Vorhandensein von Querprofilen voraus. Es sind indess häufig Massenberechnungen vorzunehmen, ohne dass Querprofile überhaupt aufgenommen wurden, so dass allein nur das Längenprofil und der Situationsplan, den wir mit Horizontalschichten versehen voraussetzen, zur Massenberechnung verwendet werden können. Natürlich kann hier nur von einer Näherungsberechnung die Rede sein.

1. Mit Hülfe des Massenprofiles. Am zweckmässigsten erscheint es im Allgemeinen, den Flächeninhalt der Querprofile aus numerischen oder besser grafischen Tabellen zu entnehmen, wobei die Neigung des Terrains aus dem Schichtenplane zu entnehmen ist. Trägt man diese Flächen im Längenprofile nach irgend einem Maassstabe auf den betreffenden Ordinaten von der Planie aus auf, so erhält man eine zweite Linie (in Fig. 83 punktirt angegeben), das sogenannte Massenprofil, weil

Fig. 83.

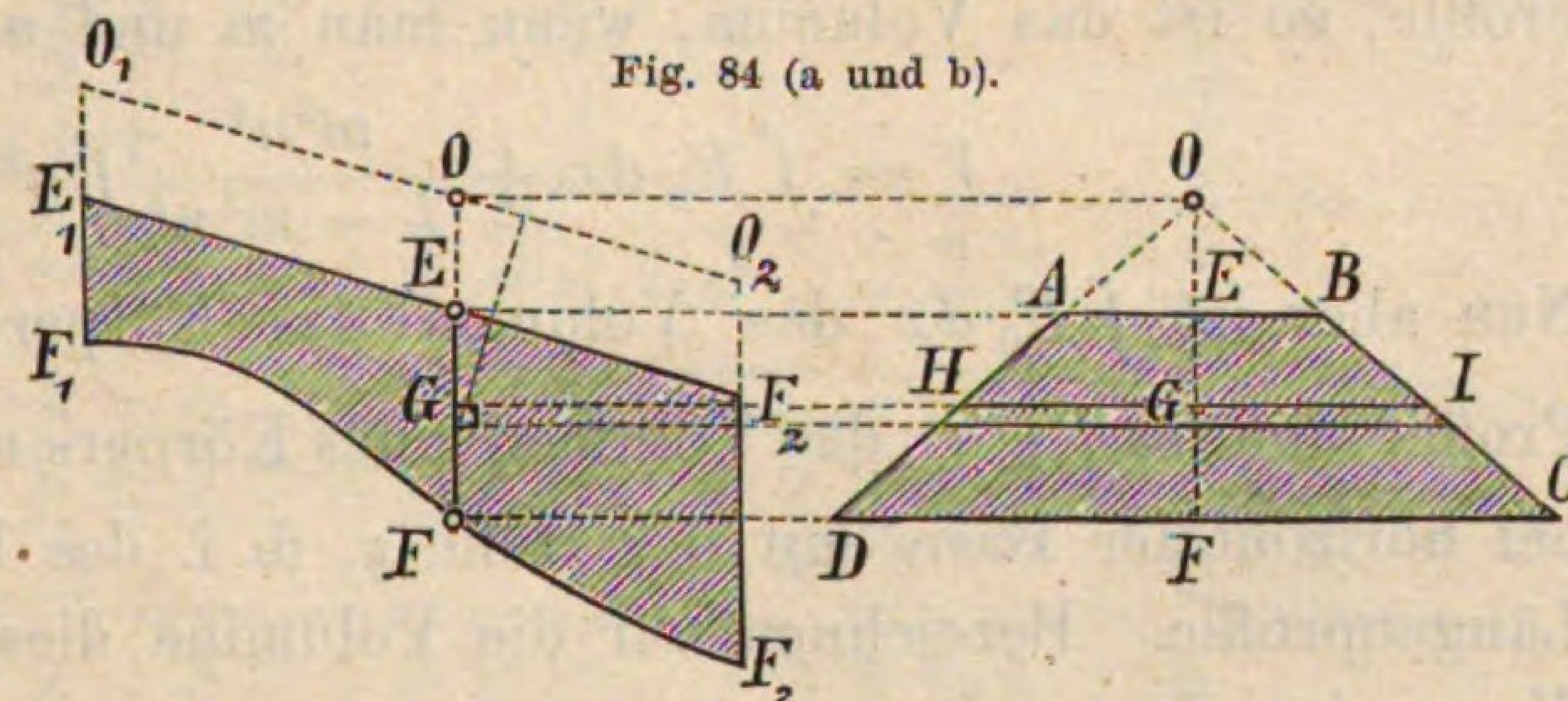


offenbar die von dieser Linie mit der Planielinie eingeschlossene Fläche das Volumen darstellt. Die Bestimmung dieses Flächeninhaltes aber erfolgt entweder durch Rechnung, durch geometrische Konstruktion oder durch Planimetrirung. Im ersten Falle braucht man die Flächen nicht wirklich als Längen aufzutragen; es genügt vielmehr, die Zahlenwerthe an den betreffenden Ordinaten des Längenprofiles einzuschreiben. Bei der Flächenberechnung ist das in §. 49. Gesagte zu beachten.

2. Mit Hülfe des Momentenplanimeters. Wir wollen im Folgenden noch zeigen, wie der Amsler'sche Momentenplanimeter zur Bestimmung des Volumens der Auf- und Abträge verwendet werden kann.

Wir setzen zunächst die Querprofile als Trapez voraus (Fig. 84 b) und denken uns den Körper zerlegt in elementare Prismen, welche auf der durch die Axe der Planie gelegten Vertikalebene senkrecht stehen. Im Längenprofile (Fig. 84a) erscheinen alsdann die Querschnitte dieser Prismen. Ist df die Querschnittsfläche, c die Länge HI eines solchen Prismas, so ist das Gesammtvolumen V

Fig. 84 (a und b).



$$V = \int c\,df.$$

Bezeichnet man das Böschungsverhältniss mit m, den Abstand OG der Axe des elementaren Prismas von der Ergänzungsecke O des Querprofiles mit y, so ist $c = 2ym$, also

$$V = 2m \int y\,df.$$

Wir ziehen nun im Längenprofile eine Gerade $O_1 O_2$, welche durch die Ergänzungsecken O der Querprofile geht und bezeichnen den Abstand eines elementaren Prismas von $O_1 O_2$ mit z. Bezeichnen wir die Neigung von $O_1 O_2$ oder von der Planie im Längenprofile (nicht in Wirklichkeit) mit ε, so ist $y = z \sec \varepsilon$, also innerhalb einer Strecke, in welcher ε konstant ist,

$$32. \quad V = 2m \sec \varepsilon \int z\,df.$$

Das Integral aber bedeutet das statische Moment der Fläche $E_1 E_2 F_2 F_1$ in Beziehung auf die Gerade $O_1 O_2$, welches mit Hülfe des Momentenplanimeters durch blosses Umfahren dieser Fläche ermittelt werden kann.

Ist das Neigungsverhältniss $= s$ und sind im Längenprofile die Längen in $\frac{1}{v}$, die Höhen in $\frac{1}{v_1}$ natürlicher Grösse aufgetragen, so ist

$\tan \varepsilon = \frac{v}{v_1} s$, also

$$sec\,\varepsilon = \sqrt{1 + \frac{v^2 s^2}{v_1^2}},$$

und ausserdem ist das durch Formel 32. erhaltene, der Verjüngung entsprechende Volumen mit $v v_1^2$ zu multipliciren, um das wirkliche Volumen zu erhalten.

Hat das Terrain eine Neigung n, so ergibt sich als Querschnittsfläche F leicht der Ausdruck

$$33.\quad F = F_0 + \frac{m^3 n^2}{1 - m^2 n^2} y^2,$$

wenn F_0 die Querschnittsfläche für ein trapezförmiges Profil mit gleicher Höhe, y die Höhe OF des Profiles bis zur Ergänzungsecke O bezeichnet. Ist x der Horizontalabstand des Profiles von irgend einem Anfangsprofile, so ist das Volumen, wenn man m und n konstant annimmt,

$$V = \int F_0\,dx + \frac{m^3 n^2}{1 - m^2 n^2} \int y^2\,dx.$$

Nun aber ist $\int F_0\,dx$ das Volumen des Körpers bei trapezförmigem Profile und $m \int y^2 dx$ das Volumen eines Körpers mit dreieckigen Profilen bei horizontaler Basis mit der Höhe y, d. i. des Körpers $O_1 O_2 F_2 F_1$ im Längenprofile. Bezeichnen wir die Volumina dieser Körper mit V_0 und V_1, so ist also

$$34.\quad V = V_0 + \frac{m^2 n^2}{1 - m^2 n^2} V_1.$$

Bezeichnet man das statische Moment der Flächen $E_1 E_2 F_2 F_1$ und $O_1 O_2$ $F_2 F_1$ in Beziehung auf $O_1 O_2$ mit S_0 und S_1, so ist nach dem Obigen $V_0 = 2\,m\,S_0\,sec\,\varepsilon$, $V_1 = 2\,m\,S_1\,sec\,\varepsilon$. Man muss zur Anwendung dieser Regeln allerdings den Körper in Strecken theilen, innerhalb deren man n konstant annehmen kann.

Es ist dieses Verfahren überhaupt nur bei vorläufigen Näherungsbestimmungen anwendbar, um hierdurch das Aufnehmen und Zeichnen der Profile zu ersparen; die Neigung n des Terrains lässt sich hierbei aus dem Schichtenplane entnehmen. Es liesse sich die Anwendung des Momentenplanimeters zur Massenberechnung theoretisch noch weiter ausbilden; jedoch hat dies keinen praktischen Werth, da eine genaue Massenberechnung am ungenügenden Genauigkeitsgrade des Instrumentes scheitert.

§. 67. Berechnungstabelle. Die Berechnung der Erdkörper wird möglichst tabellarisch geordnet. Die Form der Tabelle hängt natürlich von der zu Grunde gelegten Berechnungsweise ab. Die folgende Tabelle bezieht sich hauptsächlich auf die in §. 54. mitgetheilten Methoden und auf das auf Taf. I bis IV dargestellte Beispiel.

Massenberechnungs-Tabelle.

Benennung	Punkt	Fläche des Querprofiles		Korrektion $\frac{1}{6}(\varphi_1+\varphi_2)$		Mittl. Fläche $\frac{1}{2}(F_1+F_2)-\frac{1}{6}(\varphi_1+\varphi_2)$		Länge		Volumen		Besonderer Zuschlag		Bezeichnung des Zuschlages und Bemerkungen
		Auftrag	Abtrag	Auftrag	Abtrag	Auftrag	Abtrag	Auftrag	Abtrag	Auftrag	Abtrag	Auftrag	Abtrag	
Damm am Grasbach. Erd-Auftrag.	54 + 94,5	0	—											
				0	—	1,7	—	5,5	—	9,4	—			Abtrag: Linksseitiger Graben.
	53	3,4	0,2											
				0,7	—	6,1	0,2	43,6	105,0	266,0	21,0			
	53 c	10,2	"											Beide Rampen.
				0,7	—	14,2	"	20,5	28,5	299,1	5,7	+1180,3		
	53 f	19,5	"											Wächterhausbankett.
				1,5	—	26,0	"	35,9	40,9	933,4	8,2	+ 388,0		
	54	35,4	"											
				0,5	—	40,5	"	17,0	32,0	688,5	6,4			Am Haupte des Objektes.
	54 a	46,6	"											
				4,0	—	60,3	"	36,3	35,0	2188,9	7,0	— 188,0		Ueberschüttung des Objektes.
	54 + 53,3	82,0	"											
				—	—	14,8	—	6,0	—	88,8	—			Am Haupte des Objektes.
	54 + 59,3	52,0	"											
				0,1	—	49,8	0,2	26,4	32,5	1314,7	6,5	— 94,3		(1 Erdkegel = 65,4).
	54 + 85,7	43,3	"											
				0,1	—	44,4	"	14,3	14,3	634,9	2,9			Am Haupte des Objektes.
	55	41,2	"											
				0	—	40,0	"	10,8	6,7	432,0	1,3	— 98,4		Brücke.
	55 + 10,8	38,7	"											
								6,1	—		—			Am Haupte des Objektes.
	55 + 16,9	61,2	"											
				0	—	58,4	0,2	30,3	40,0	1769,5	8,0	— 136,8		(1 Erdkegel = 34,9).
	55 d	55,6	"											
				0,8	—	38,5	"	52,8	52,8	2032,8	10,6			
	56	23,0	"											
				0	—	22,9	"	8,9	8,9	203,8	1,8			Uebergangskörper.
	56 b	22,5	"											
				0,2	—	15,9	"	32,6	32,6	518,3	6,5			
	56 + 41,5	9,6	"											
				0,2	—	7,2	"	19,5	0,5	142,4	0,1			
	56 c	5,2	"											
				—	—	—	—	10,6	—	18,4	—			
	56 + 71,6	0	"											
								377,1	4297	11541,0	86,0	+1050,2		
										1050,2				
										12591,2				

Die Massenberechnung der Rampen und Wächterhausbankette, sowie die Berechnung der Ersparniss bei Objekten wird am besten in besonderen Tabellen zusammengestellt, für welche sich leicht eine Form finden lässt. In der Haupttabelle kann man die so berechneten Massen unter den Bemerkungen oder in einer besonderen Rubrik mit angeben. Ebenso werden für die Berechnung der Erdkörper in den Bahnhöfen besondere Tabellen erforderlich. Die Gesammtvolumina der einzelnen Auf- und Abträge der verschiedenen Bauabtheilungen kann man zwar in der Massenberechnungstabelle mit angeben, wie dies in der Tabelle S. 89 geschehen ist; es ist aber zweckmässig, dafür ebenfalls eine besondere Tabelle anzulegen.

VI. Kapitel.

Theorie des Transportes durch animalische Kräfte.

§. 68. Einleitung. Es handelt sich bei den Vorarbeiten auch um die Feststellung der Grundlagen für die Kostenberechnung des Transportes der Massen. Ist der Weg, auf welchem transportirt wird, horizontal, so sind die Kosten für eine bestimmte Transportweise offenbar proportional dem Produkte aus dem zu transportirenden Gewichte und der Länge l des Weges, abgesehen von demjenigen Theile der Kosten, welcher durch das Auf- und Abladen verursacht wird und nur dem Volumen proportional ist; die Kosten k der Gewichtseinheit lassen sich also ausdrücken durch

$$k = Cl,$$

wobei C einen Erfahrungskoefficienten, die Transportkosten der Gewichtseinheit auf die Längeneinheit, bezeichnet. Mit der Transportweise wird sich natürlich C ändern.

Schwieriger aber wird die Bestimmung der Transportkosten bei geneigter Bahn. Gewöhnlich hat man sich über diese Schwierigkeit dadurch hinweggesetzt, dass man den Weg in einen horizontalen und einen vertikalen zerlegt und das für die horizontale Bewegung gültige Gesetz ohne Weiteres auch für die vertikale Bewegung gelten lässt, indem man bei der horizontalen Transportweite l und der Transporthöhe h

$$k = C\,l + D\,h = C\,(l + Ah)$$

setzt, wobei $A = \frac{D}{C}$ ist und h für den Bergtransport positiv, für den Thaltransport negativ zu nehmen ist. Dass dieses Gesetz nicht vollkommen richtig sein kann, lässt sich leicht nachweisen. Es existirt offenbar

eine Neigung, über welche die Last gar nicht (mit der in Rede stehenden Transportweise) hinweggeschafft werden kann und für diese Neigung müsste sich offenbar $k = \infty$ ergeben. Ferner würde nach der aufgestellten Regel eine Neigung existiren, für welche sich die Kosten beim Thaltransporte gleich Null ergeben, was offenbar absurd ist. Um diesen Absurditäten auszuweichen, hat man wohl diese Regel nur für kleine Neigungen gelten lassen, auch wohl beim Thaltransporte $A = 0$ gesetzt. Selbst aber auch bei schwachen Neigungen hat diese Regel bisher sehr illusorische Resultate ergeben, da der Werth des Koefficienten A von verschiedenen Autoren ausserordentlich verschieden angegeben wird.

Somit erscheint eine genaue theoretische Untersuchung des Sachverhaltes geboten. Wir werden uns indess hier auf den Transport durch animalische Kräfte beschränken; eine Ergänzung wird der Abschnitt über die „Kosten" bieten.

Wie sehr man in dieser Sache noch in Unkenntniss ist, mögen folgende Angaben beweisen. Der Werth von A wird folgendermaassen angegeben: Becker (allgemeine Ingenieurbaukunde) allgemein $A = 6$; Wach (Baurathgeber) für Schubkarren und Wagen bis zu Neigungen von 0,08 $A = 12$; Heyne (Trassiren der Eisenbahnen) allgemein $A = 20$; Plessner (Veranschl. der Eisenbahnen) allgemein $A = 30$. Rziha (Tunnelbau) gibt den Werth von A für verschiedene Neigungen verschieden an, was dem wahren Sachverhalte viel besser entspricht; er gibt z. B. für Schubkarren bei kleinen Neigungen $A = 12$, bei grossen Neigungen (bis 0,17) $A = 88$, für Kippkarren bei kleinen Neigungen $A = 23$, bei grossen (bis 0,03) $A = 46$, für Interimsbahnen bei kleinen Neigungen $A = 100$, bei grossen (bis 0,05) $A = 120$.

§. 69. Transportkosten im Allgemeinen. Es bezeichne l', l'', l''', ... die Längen der einzelnen Wegstrecken, in welchen eine verschiedene Neigung oder verschiedene Beschaffenheit des Weges stattfindet, in denen daher mit einer verschiedenen Geschwindigkeit transportirt wird. Die Geschwindigkeiten in diesen Strecken seien bei der Fahrt mit vollem Gefässe (Hinfahrt) c_1', c_1'', c_1''', ..., bei der Fahrt mit leerem Gefässe (Rückfahrt) c_2', c_2'', c_2''', ... Die Anzahl der Zugindividuen (Menschen mit inbegriffen) an einem Gefässe sei n, die täglichen Kosten eines Zugthieres p, die täglich auf wirklichen Transport verwendete Arbeitszeit T, das Gewicht der Ladung für ein Gefäss G und die Transportkosten der Gewichtseinheit k. Die Zeiten, welche für die einzelnen Strecken nöthig sind, sind $\frac{l'}{c_1'}$, $\frac{l''}{c_1''}$, .. $\frac{l'}{c_2'}$, $\frac{l''}{c_2''}$, ..; also ist das Verhältniss der für eine Hin- und Rückfahrt nöthigen Zeit zur täglichen Arbeitszeit:

$$\left(\frac{l'}{c_1'} + \frac{l''}{c_1''} + \frac{l'''}{c_1'''} + \cdots + \frac{l'}{c_2'} + \frac{l''}{c_2''} + \frac{l'''}{c_2'''} + \cdots\right) \frac{1}{T}$$

und mithin sind die Kosten der Gewichtseinheit, da der ganze Tag np kostet und bei jeder Fahrt das Gewicht G gefördert wird,

$$1.\quad k = \left(\frac{l'}{c_1'} + \frac{l''}{c_1''} + \frac{l'''}{c_1'''} + \cdots \right.$$
$$\left. + \frac{l'}{c_2'} + \frac{l''}{c_2''} + \frac{l'''}{c_2'''} + \cdots \right) \frac{np}{GT}.$$

Die Kosten für das Auf- und Abladen und den hierbei entstehenden Zeitverlust sind dem zu transportirenden Gewichte G proportional. Wir wollen diesen Theil, als nicht zum eigentlichen Transporte gehörig, jetzt ausser Acht lassen.

Die Länge der horizontalen Bahn, auf welcher sich unter sonst gleichen Umständen dieselben Transportkosten ergeben würden, als auf der in Rede stehenden Bahn, nennen wir die reducirte Transportweite, und bezeichnen dieselbe mit l_0. Ist für den Transport auf der horizontalen Bahn das Ladungsgewicht für einen Wagen G_0, die Anzahl der Zugthiere n_0 und die Geschwindigkeit für Hin- und Rückfahrt v_1 und v_2, so ist nach 1.:

$$k = \left(\frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2}\right) \frac{l_0 n_0 p}{G_0 T},$$

oder, wenn wir zur Abkürzung $\frac{2}{v} = \frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2}$, oder $v = \frac{2 v_1 v_2}{v_1 + v_2}$ setzen, wobei wir v die mittlere Geschwindigkeit nennen,

$$2.\quad k = \frac{2 l_0 n_0 p}{v G_0 T}.$$

Setzt man diesen Werth von k dem Werthe 1 gleich, so ergibt sich als Ausdruck für die reducirte Transportweite

$$3.\quad l_0 = \frac{v}{2}\left(\frac{l'}{c_1'} + \frac{l''}{c_1''} + \frac{l'''}{c_1'''} + \cdots \frac{l'}{c_2'} + \frac{l''}{c_2''} + \frac{l'''}{c_2'''} + \cdots\right) \frac{n G_0}{n_0 G}.$$

Es kommt nun darauf an, einen Ausdruck für die Geschwindigkeit in den verschiedenen Strecken zu erhalten. Wir bezeichnen hierzu die Kraft und Geschwindigkeit eines Zugthieres in einer beliebigen Strecke mit P, c, die zweckmässigste Kraft und Geschwindigkeit auf horizontaler Bahn bei voller Hin- und Rückfahrt mit P_0, c_0. Alsdann ist bekanntlich nach der zuerst von Bouguier aufgestellten empirischen Formel

$$4.\quad \frac{P}{P_0} = 2 - \frac{c}{c_0}.$$

Ferner sei das Gewicht des Transportgefässes W, das Gewicht eines Zugthieres G', der Reibungskoefficient auf der Bahn f und die Neigung derselben s. Alsdann ist nach der Theorie der schiefen Ebene unter Voraussetzung einer kleinen Steigung sehr nahe

$$5.\quad nP = (W + G)(f + s) + nG's.$$

Setzt man diesen Werth von P in die Gleichung 4. ein und berück-

sichtigt dabei zugleich, dass erfahrungsgemäss nahezu $G = 5P_0$ ist, so ergibt sich

$$6.\quad \frac{c}{c_1} = 2 - 5s - \frac{(W + G)(f + s)}{nP_0}.$$

Diese Gleichung ist für alle einzelnen Strecken anzuwenden, dabei s bei der Bergfahrt positiv, bei der Thalfahrt negativ einzuführen und für die Rückfahrt natürlich $G = o$ zu setzen. Jedoch ist diese Formel nur so lange gültig, als kein Bremsen oder Hemmen eintreten muss. Dieses aber wird dann nöthig, wenn die zur Bahn parallele Komponente der Last grösser ist als der Widerstand, oder wenn $s > f$ ist. Wird in diesem Falle so stark gebremst, dass eine Kraft zum Fortziehen nicht nöthig ist, also $nP - nG's = o$ ist, so wird nach 4.

$$7.\quad \frac{c}{c_0} = 2 - 5s,$$

wobei s negativ einzuführen ist, so dass $c \geqq 2c_0$ wird. Da s nur klein ist, so wird annähernd $c = 2c_0$.

Hat jedes Zugthier ausser der Ausübung des zur Bahn parallelen Zuges auch noch eine Last L zu tragen, so ist statt der Formel 4 zu setzen:

$$8.\quad \frac{c}{c_0} = 2 - \frac{P}{P_0} - \frac{L}{L_0},$$

wenn L_0 diejenige Last bezeichnet, welche das Thier auf horizontaler Bahn in der ganzen täglichen Arbeitszeit bei der zweckmässigsten Geschwindigkeit c_0 zu tragen vermag. Die Formel 5 geht alsdann über in

$$9.\quad nP = (W + G)(f + s) + n(G' + L)s.$$

Dies in die Formel 8 eingesetzt, gibt

$$10.\quad \frac{c}{c_0} = 2 - 5s - \frac{(W + G)(f + s)}{nP_0} - \frac{Ls}{P_0} - \frac{L}{L_0}.$$

Dieser Fall tritt, wenn wir nur die bei uns üblichen Transportweisen berücksichtigen, nur beim Schubkarrentransporte ein.

Erfolgt beim Thaltransporte die Aufhebung der nach abwärts gerichteten Komponente von $W + G$ nicht durch besondere Bremsapparate, sondern durch direktes Zurückhalten durch das Thier, so ist das Glied $\frac{(W + G)(f + s)}{nP_0}$ in Formel 6 und 10 mit dem entgegengesetzten Vorzeichen einzuführen.

Die Geschwindigkeit mit zunehmender Transportweite abnehmend vorauszusetzen, wie es z. B. Heyne in seinem „Erdbau" thut, scheint uns nicht nothwendig, wenn man dafür sorgt, dass bei grösseren Transportweiten entsprechende Ruhepausen eintreten.

§. 70. Transport auf horizontaler Bahn. Wenn der Transport bei der Hin- und Rückfahrt voll stattfindet, so ist die zweckmässigste

Kraft und Geschwindigkeit P_0, c_0. Daher ist, wenn wir das Wagengewicht W_0, das Ladungsgewicht G_0' setzen, $n_0 P_0 = (W_0 + G_0')f$. Wir können annehmen, dass bei derselben Wagengattung das Wagengewicht dem Ladungsgewichte proportional ist und können daher $W = wG$ setzen. Daher wird $n_0 P_0 = (1 + w)\, G_0' f$ oder

$$11. \quad \boldsymbol{G_0' = \frac{n_0 P_0}{(1 + w) f}}.$$

Die Transportkosten k_0 der Gewichtseinheit werden nach 1.:

$$12. \quad \boldsymbol{k_0 = \frac{n_0 p_0 l}{c_0 G_0' T}}.$$

Wir setzen aber stets voraus, dass die Rückfahrt leer stattfinde. In diesem Falle werden die Geschwindigkeiten für Hin- und Rückfahrt, wenn das Ladungsgewicht G_0 ist, nach 6.:

$$v_1 = c_0 \left[2 - \frac{(1 + w)\, G_0 f}{n_0 P_0}\right] = c_0 \left[2 - \frac{G_0}{G_0'}\right],$$

$$v_2 = c_0 \left[2 - \frac{w G_0 f}{n_0 P_0}\right] = c_0 \left[2 - \frac{w G_0}{(1 + w)\, G_1'}\right].$$

Setzen wir diese Ausdrücke in die Gleichung 2. ein, wobei zu beachten, dass $\frac{2}{v} = \frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2}$ ist, und berücksichtigen wir hierbei gleichzeitig obigen Werth für k_0, so ergibt sich

$$13. \quad \boldsymbol{k = k_0 \frac{G_0'}{G_0} \left(\frac{1}{2 - \frac{G_0}{G_0'}} + \frac{1}{2 - \frac{w G_0}{(1 + w)\, G_0'}} \right)}.$$

Die Ladung G_0 ist nun offenbar am zweckmässigsten so zu wählen, dass k möglichst klein wird. Differenziirt man nach G_0 und setzt den Differenzialquotienten $= o$, so ergibt sich für G_0 eine Gleichung III. Grades. Die Auflösung derselben hat für verschiedene w zu folgenden Werthen geführt:

w	G_0	v_1	v_2	v
0,25	1,169	0,831	1,743	1,130
0,50	1,164	0,836	1,612	1,101
0,75	1,157	0,843	1,504	1,080
1,00	1,150	0,850	1,425	1,065
	$\cdot\, G_0'$	$\cdot\, c_0$	$\cdot\, c_0$	$\cdot\, c_0$

Hiernach kann man allgemein sehr nahe

$$14. \quad \boldsymbol{G_0 = 1{,}16\, G_0'}$$

setzen, wobei G_0' durch Formel 11. bestimmt ist.

§. 71. Transport bei konstanter Steigung im Allgemeinen. Wenn die Steigung konstant ist und die Bahn eine konstante Beschaffenheit hat, so wird nach Formel 3.:

$$15.\quad \frac{l_0}{l} = \frac{v}{2}\left(\frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2}\right)\frac{nG_0}{n_0 G}.$$

Hierin ist nach 6. zu setzen:

$$16.\quad \begin{cases} \dfrac{c_1}{c_0} = 2 - 5s - \dfrac{(W+G)\,(f+s)}{nP_0}, \\[2ex] \dfrac{c_2}{c_0} = 2 + 5s - \dfrac{W\,(f-s)}{nP_0}. \end{cases}$$

Ist $s > f$, so ist, wenn bergan transportirt wird, $c_2 = c_0\,(2 + 5s)$, wenn bergab transportirt wird, $c_1 = c_0\,(2 - 5s)$ zu setzen.

Im Allgemeinen kann man bei verschiedenen Neigungen sowohl n, als G variabel annehmen. Für den Erdtransport erfordert es die Praxis, die Ladung G konstant und nur die Anzahl n der Zugthiere variabel anzunehmen. Alsdann ist natürlich $G = G_0$ zu setzen, so dass in Formel 15. G_0 und G ganz in Wegfall kommt.

Der Schubkarrentransport erfordert eine abweichende, später zu besprechende Behandlung.

§. 72. Handkippkarrentransport. Die Handkippkarren sind zweirädrige Karren, welche von 1 oder 2 Mann gezogen werden und woran auch noch 1 oder 2 Mann schieben können. Die Räder laufen auf hölzernen Fahrten. Bei horizontaler Bahn werden 2 Mann zum Transporte angewendet, so dass $n_0 = 2$ zu setzen ist. Ferner setzen wir $P_0 = 14$ *Kilogramm* $= 0{,}014$ *Tonnen*, $f = 0{,}04$, $w = 0{,}5$. Nach 11. wird $G_0' = \frac{2\,.\,0{,}014}{1{,}4\,.\,0{,}04} = 0{,}4667$ *Tonnen*. Nach der Tabelle zu §. 70 wird daher $G_0 = 1{,}164\,G_0' = 0{,}540$ *Tonnen*, $W = \frac{1}{2}\,G = 0{,}270$ *Tonnen*. Dies in 16. eingesetzt, gibt

$$17.\quad \begin{cases} \dfrac{c_1}{c_0} = 2 - 5s - \dfrac{2{,}314}{n} - \dfrac{57{,}86\,s}{n}, \\[2ex] \dfrac{c_2}{c_0} = 2 + 5s - \dfrac{0{,}771}{n} - \dfrac{19{,}29\,s}{n}. \end{cases}$$

Für $s = 0$ wird $n = n_0 = 2$, daher $v_1 = 0{,}845\,c_0$, $v_2 = 1{,}614\,c_0$, also $v = \dfrac{2\,.\,0{,}845\,.\,1{,}614}{0{,}845 + 1{,}614}\,c_0 = 1{,}108\,c_0$, also nach 15.:

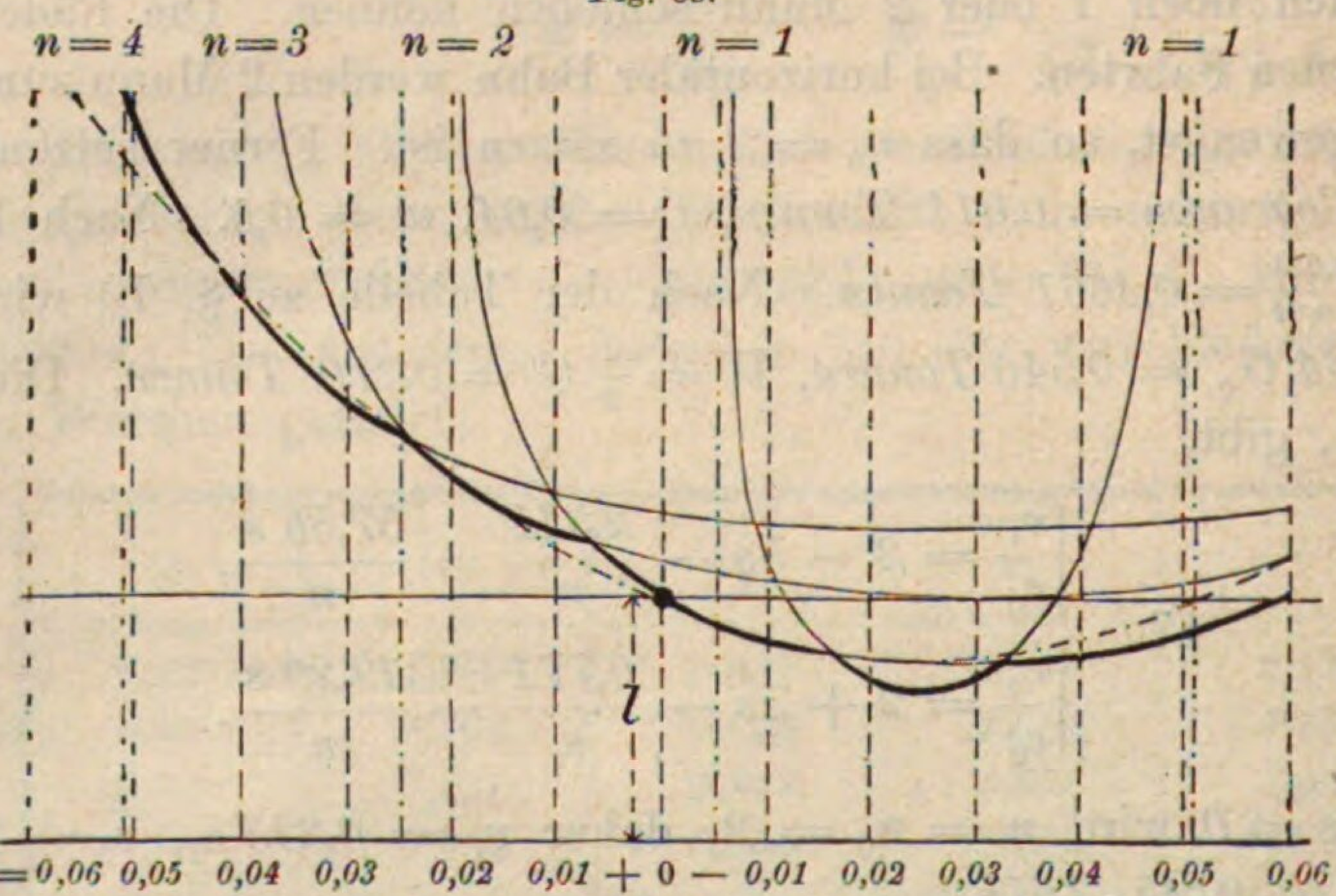
$$18.\quad \frac{l_0}{l} = 0{,}277\,n\left(\frac{c_0}{c_1} + \frac{c_0}{c_2}\right).$$

Hiernach ist für $n = 1$, $n = 2$, $n = 3$, $n = 4$ die folgende Tabelle berechnet.

s	$\frac{l_0}{l}$				$Min\ \frac{l_0}{l}$
	$n = 1$	$n = 2$	$n = 3$	$n = 4$	
+ 0,073	—	—	—	∞	—
+ 0,06	—	—	—	**4,844**	4,844
+ 0,051	—	—	∞	. .	. .
+ 0,05	—	—	5,910	**2,961**	2,961
+ 0,04	—	—	3,611	**2,225**	2,225
+ 0,03	—	—	2,060	**1,850**	1,850
+ 0,025	—	∞	. .	. .	. .
+ 0,02	—	3,591	**1,540**	1,625	1,540
+ 0,01	—	1,414	**1,292**	1,485	1,292
0	—	**1,000**	1,150	1,393	1,000
— 0,005	∞	. .	. .	. .	. .
— 0,01	1,160	**0,846**	1,074	1,334	0,846
— 0,02	**0,666**	0,782	1,034	1,300	0,666
— 0,03	**0,730**	0,769	1,018	1,286	0,730
— 0,04	1,204	**0,791**	1,024	1,288	0,791
— 0,05	19,910	**0,874**	1,078	1,335	0,874
— 0,051	∞	. .	. .	. .	. .
— 0,06	—	**0,994**	1,148	1,391	0,994

In Fig. 85 ist l_0 für $n = 1, 2, 3, 4$ grafisch dargestellt. Wählen wir bei jeder speciellen Steigung eine solche Zahl von Leuten, dass l_0 zum Minimum wird, was offenbar die zweckmässigste Anordnung ist, lassen

Fig. 85.



dabei aber $n = 1$ aus, weil ein Mann zum Anrücken, Wenden, etc. nicht ausreicht, so lässt sich l_0 annähernd durch eine Parabel mit der Gleichung

$$l_0 = l\,(1 + As + Bs^2)$$

darstellen. Bestimmen wir die Koefficienten A und B nach der Methode der kleinsten Quadratsummen so, dass die Summe der Quadrate der

Abweichungen von den in der Tabelle enthaltenen Werthen (für die von *0,01* zu *0,01* fortschreitenden s, mit Einschluss von $s = \pm 0{,}06$) ein Minimum wird*), so ergibt sich

$$19. \quad \frac{l_0}{l} = 1 + 20s + 350s^2.$$

Wir setzen noch $c_0 = 0{,}70^m$. Nach dem Obigen wird alsdann $v = 1{,}108 \,.\, 0{,}70 = 0{,}74^m$. Daher werden nach Formel 2. die Kosten pro *1 Tonne*: $k = \frac{2 \,.\, 2}{0{,}74 \,.\, 0{,}54} \frac{l_0 p}{T}$, d. i.

$$20. \quad k = 10 \frac{l_0 p}{T},$$

wobei l_0 in Metern, T in Sekunden einzuführen ist.

Rziha macht in seinem Werke über „Tunnelbau", I. Bd. S. 616 folgende Angaben:

$s =$	$+ 0{,}03$	$+ 0{,}02$	$+ 0{,}01$	0	$- 0{,}01$	$- 0{,}02$	$- 0{,}03$
$l_0 =$	$2{,}18$	$1{,}75$	$1{,}20$	1	$0{,}97$	$1{,}20$	$1{,}58 \,.\, l.$

§. 73. Pferdekarrentransport. Die Pferdekarren sind grössere zweirädrige Karren, welche auf hölzernen Bahnen laufen und von denen ein Pferd gleichzeitig 1 bis 4 Stück zieht. Bei horizontaler Bahn werden 2 Karren an einander gehängt, so dass $n_0 = \frac{1}{3}$ zu setzen ist. Ferner setzen wir $P_0 = 56$ *Kilogramm* $= 0{,}056$ *Tonnen*, $f = 0{,}03$, $w = 0{,}5$. Nach 11. wird $G_0' = \frac{2 \,.\, 0{,}5 \,.\, 0{,}056}{1{,}5 \,.\, 0{,}03} = 0{,}6111$ *Tonnen*, also nach §. 70 $G_0 = 1{,}164 \,.\, 0{,}6111 = 0{,}700$ *Tonnen*, $W = \frac{1}{2} G_0 = 0{,}350$ *Tonnen*. Dies in 16. eingesetzt, gibt

$$20. \quad \begin{cases} \dfrac{c_1}{c_0} = 2 - 5s - \dfrac{0{,}5625}{n} - \dfrac{18{,}75\,s}{n}, \\[2ex] \dfrac{c_2}{c_0} = 2 + 5s - \dfrac{0{,}1875}{n} + \dfrac{6{,}25\,s}{n}. \end{cases}$$

Für $s = o$ wird $n = \frac{1}{2}$, daher $v_1 = 0{,}875\, c_0$, $v_2 = 1{,}625\, c_0$, woraus $v = 1{,}138\, c_0$ folgt. Demnach wird nach 15.:

*) Sind die in der Tabelle enthaltenen Werthe von $\frac{l_0}{l} = y$, die zugehörigen Werthe von $s = x$, so ergibt sich nach der Bedingung, dass die Summe der Quadrate der Differenzen $1 + As + Bs^2 - y$ zu einem Minimum wird, unter Voraussetzung von gleich viel positiven und negativen Werthen von x:

$$A = \frac{\Sigma\,[(y - 1)\,x]}{\Sigma x^2}, \quad B = \frac{\Sigma\,[(y - 1)\,x^2]}{\Sigma x^4}.$$

Wenn man zur Erzielung eines möglichst genauen Resultates die Differenzen der auf einander folgenden x unendlich klein annimmt, so gehen vorstehende Ausdrücke, wenn man das grösste x mit $\pm a$ bezeichnet, über in

$$A = \frac{3}{2\,a^3} \int_{-a}^{+a} (y - 1)\,x\,dx, \quad B = \frac{5}{2\,a^5} \int_{-a}^{+a} (y - 1)\,x^2\,dx.$$

Die beiden Integrale bedeuten das statische und das Trägheitsmoment der Fläche, welche von der Kurve mit der Ordinate $y - 1$ begrenzt wird. Am besten wird man diese Grössen, nachdem man die betreffenden Kurven construirt hat, mit Hülfe des Amsler'schen Momentenplanimeters bestimmen.

$$21.\quad \frac{l_0}{l} = 1{,}138\, n \left(\frac{c_0}{c_1} + \frac{c_0}{c_2}\right).$$

Hiernach ist die folgende Tabelle berechnet.

s	$\frac{l_0}{l}$				$Min\ \frac{l_0}{l}$
	$n = 1$	$n = \frac{1}{2}$	$n = \frac{1}{3}$	$n = \frac{1}{4}$	
+ 0,0606	∞	—	—	—	. .
+ 0,06	**99,78**	—	—	—	9,978
+ 0,05	**5,057**	—	—	—	5,057
+ 0,04	**2,849**	—	—	—	2,849
+ 0,03	**2,121**	—	—	—	2,121
+ 0,0205	. .	∞	—	—	. .
+ 0,02	**1,740**	23,050	—	—	1,740
+ 0,01	**1,540**	1,581	—	—	1,540
+ 0,0051	. .	. .	∞	—	. .
0	1,419	**1,000**	1,475	—	1,000
— 0,0031	. .	. .	. .	∞	. .
— 0,01	1,348	0,830	**0,721**	0,817	0,721
— 0,02	1,311	0,776	**0,637**	0,648	0,637
— 0,03	1,301	0,781	**0,689**	0,945	0,689
— 0,04	1,353	**0,874**	0,919	5,818	0,874
— 0,0417	. .	. .	. .	∞	. .
— 0,05	1,415	**1,012**	1,548	—	1,012
— 0,06	1,495	**1,237**	8,986	—	1,237

Die grafische Darstellung ist der vorigen ähnlich. Wählen wir wieder bei jeder Steigung dasjenige *n*, für welches l_0 zum Minimum wird, so ergibt sich wie im vorigen Falle, dass sich l_0 innerhalb der Grenzen $s = \pm\, 0{,}05$ durch folgende Formel annäherungsweise ausdrücken lässt:

$$22.\quad \frac{l_0}{l} = 1 + 25s + 520s^2.$$

Setzen wir noch $c_0 = 1{,}1^m$, so wird $v = 1{,}138\,.\,1{,}1 = 1{,}25^m$. Daher wird $k = \frac{2\,.\,0{,}5}{1{,}25\,.\,0{,}70}\,\frac{l_0 p}{T}$, d. i.

$$23.\quad k = 1{,}143\,\frac{l_0 p}{T}.$$

§. 74. Transport auf Interimsbahnen durch Menschen. Der Transport erfolgt durch vierrädrige Wagen, welche durch Menschen geschoben werden. Je nach der Steigung kommen auf *2* Wagen *1 bis 6* Arbeiter. Auf horizontaler Bahn kann ein Arbeiter einen beladenen Wagen schieben, so dass $n_0 = 1$ zu setzen ist. Wir setzen ferner $P_0 =$

0,014 Tonnen, $f = 0{,}008$, $w = \frac{1}{3}$. Nach Formel 11 wird alsdann $G'_0 = \frac{3\,.\,1\,.\,0{,}014}{4\,.\,0{,}008} = 1{,}313$, also nach §. 70. $G_0 = 1{,}167\,.\,1{,}313 = 1{,}5$ *Tonn.* $W = 0{,}5$ *Tonn.* Nach Formel 16. wird nun:

$$23.\quad \begin{cases} \dfrac{c_1}{c_0} = 2 - 5s - \dfrac{1{,}143}{n} - \dfrac{142{,}86\,s}{n}, \\[2ex] \dfrac{c_2}{c_0} = 2 + 5s - \dfrac{0{,}286}{n} + \dfrac{35{,}71\,s}{n}. \end{cases}$$

Für $s = 0$ wird $n = 1$, daher $v_1 = 0{,}857\,c_0$, $v_2 = 1{,}714\,c_0$, daher wird $v = 1{,}143\,c_0$ und demnach nach Formel 15.:

$$24.\quad \frac{l_0}{l} = 0{,}572\,n\left(\frac{c_0}{c_1} + \frac{c_0}{c_2}\right).$$

Hiernach ist für $n = \frac{1}{2}$, *1*, *2* und *3* folgende Tabelle berechnet:

s	$\frac{l_0}{l}$ *für*				*Min* $\frac{l_0}{l}$
	$n = 3$	$n = 2$	$n = 1$	$n = \frac{1}{2}$	
+ 0,0308	∞	—	—	—	—
+ 0,030	**43,260**	—	—	—	43,260
+ 0,025	**6,452**	—	—	—	6,452
+ 0,020	**3,844**	—	—	—	3,844
+ 0,0187	—	∞	—	—	—
+ 0,015	**2,895**	4,594	—	—	2,895
+ 0,010	2,408	**2,279**	—	—	2,279
+ 0,0058	—	—	∞	—	—
+ 0,005	2,121	**1,674**	5,146	—	1,674
0	1,961	1,416	**1,000**	—	1,000
— 0,0010	—	—	—	∞	—
— 0,005	1,855	1,288	0,737	**0,518**	**0,518**
— 0,010	1,825	1,261	0,717	**0,570**	**0,570**
— 0,015	1,866	1,308	**0,793**	1,152	**0,793**
— 0,0187	—	—	—	∞	—
— 0,020	1,913	1,361	**0,987**	—	0,987
— 0,025	1,965	1,429	**1,091**	—	1,091
— 0,030	2,026	1,508	**1,430**	—	1,430

Wählen wir wieder für jedes s das zweckmässigste n, so lässt sich l_0 innerhalb der Grenzen $s = \pm\, 0{,}025$ annähernd ausdrücken durch:

$$25.\quad \boldsymbol{\frac{l_0}{l} = 1 + 80\,s + 3870\,s^2.}$$

Setzen wir $c_0 = 0{,}7^m$, so wird $v = 1{,}143\,c_0 = 0{,}800^m$, demnach werden die Kosten pro Tonne: $k = \frac{2\,.\,1}{0{,}8\,.\,1{,}5}\,\frac{l_0 p}{T}$, d. i.

$$26.\quad k = 1{,}667\,\frac{l_0 p}{T}.$$

Wir wollen jetzt noch den Fall untersuchen, dass die Arbeiter beim Thaltransporte auf den Wagen stehen und dieselben bremsen. Der Unterschied gegen den vorigen Fall liegt hier nur darin, dass sich für den Thaltransport eine grössere Geschwindigkeit annehmen lässt. Nehmen wir $c_0 = 0{,}7^m$, $c_1 = 4^m$, und behalten alle sonstigen obigen Annahmen bei, so wird

$$27.\quad \frac{c_2}{c_0} = 2 + 5s - \frac{0{,}286}{n} + \frac{35{,}71}{n}\,s,$$

$$28.\quad \frac{l_0'}{l} = n\left(0{,}100 + 0{,}572\,\frac{c_0}{c_2}\right).$$

Hiernach ist die folgende Tabelle berechnet, wobei indess bloss diejenigen Werthe von n berücksichtigt sind, welchen das Minimum von l_0 entspricht.

s	n	$Min\,\frac{l'_0}{l}$	s	n	$Min\,\frac{l'_0}{l}$
— 0,008	$\frac{1}{2}$	0,400	— 0,030	2	1,176
— 0,010	$\frac{1}{2}$	0,483	— 0,035	2	1,234
— 0,015	1	0,619	— 0,040	2	1,413
— 0,020	1	0,736	— 0,045	2	1,582
— 0,025	1	0,922	— 0,050	2	1,803

Hiernach lässt sich annähernd setzen:

$$29.\quad \boldsymbol{\frac{l_0}{l} = 0{,}112 - 38s - 83s^2}.$$

Hierbei wurde allerdings die Voraussetzung gemacht, dass auf dem ganzen Wege der Thalfahrt die Geschwindigkeit konstant sei, während in Wirklichkeit eine gewisse, etwa durch sogen. Antauchen oder durch eine Rampe erzeugte Anfangsgeschwindigkeit c' stattfindet, welche mit der Beschleunigung $g\,(s - f)$, worin g die Beschleunigung der Schwere $= 9{,}81$ *Meter* bezeichnet, in der Zeit $\frac{c_1 - c'}{g\,(s - f)}$ in die Geschwindigkeit c_1 übergeht. Es ergibt sich leicht, dass mit Berücksichtigung dieses Umstandes aus der in obiger Weise bestimmten reducirten Transportweite l_0' die wirkliche reducirte Transportweite l_0 durch folgende Beziehung erhalten wird:

$$30.\quad \begin{cases} l > \dfrac{c_1^2 - c'^2}{2g\,(s-f)} : l_0 = l_0'\left[1 + \dfrac{(c_1 - c')^2\,c_1 c_2}{2g\,(s-f)\,(c_1 + c_2)\,l}\right], \\[2ex] l < \dfrac{c_1^2 - c'^2}{2g\,(s-f)} : l_0 = l_0'\,\dfrac{c_1}{c_1 + c_2}\left[1 + \dfrac{\sqrt{c'^2 + 2g\,(s-f)\,l} - c'}{g\,(s-f)\,l}\,c_2\right]. \end{cases}$$

Setzen wir $c' = 1$, $c_1 = 4$, $g = 9{,}81$ *Met.* und durchschnittlich $c_2 = 0{,}83\ c_0$ (c_2 schwankt zwischen $0{,}7\ c_0$ und $1{,}1\ c_0$), so wird

$$31.\quad \begin{cases} l > \dfrac{0{,}764}{s-f}\colon\ l_0 = l_0'\left[1 + \dfrac{0{,}058}{(s-f)\,l}\right], \\ l < \dfrac{0{,}764}{s-f}\colon\ l_0 = l_0'\left[0{,}873 + 0{,}0890\,\dfrac{\sqrt{1 + 19{,}62\,(s-f)\,l} - 1}{(s-f)\,l}\right]. \end{cases}$$

Hiernach ergibt sich:

	$s =$	$0{,}01$	$0{,}02$	$0{,}03$	$0{,}04$	$0{,}05$
$l = 100$ *Met.*	$l_0 =$	$1{,}416$	$1{,}048$	$1{,}026$	$1{,}018$	$1{,}014\ .\ l'_0$
$l = 500$ „	$l_0 =$	$1{,}058$	$1{,}010$	$1{,}005$	$1{,}004$	$1{,}003\ .\ l'_0$
$l = 1000$ „	$l_0 =$	$0{,}029$	$1{,}005$	$1{,}003$	$1{,}002$	$1{,}002\ .\ l'_0$.

Sonach erscheint es nur nothwendig, diese Korrektion bei kleinen Transportweiten und Neigungen, welche von $0{,}008$ nur wenig abweichen, anzubringen.

Rziha gibt in seinem „Tunnelbau", I. Bd. S. 618 folgende Zahlen an:

$s =$	$+\ 0{,}030$	$+\ 0{,}025$	$+\ 0{,}020$	$+\ 0{,}015$	$+\ 0{,}010$	$+\ 0{,}005$	0
$l_0 =$	$5{,}80$	$4{,}66$	$3{,}60$	$2{,}42$	$1{,}56$	$1{,}15$	$1\ .\ l.$

§. 75. Transport auf Interimsbahnen durch Pferde. Beim Transporte auf provisorischen Eisenbahnen oder Interimsbahnen durch Pferde werden vierrädrige Wagen angewendet. Je ein Pferd hat je nach der Steigung 1 bis 4 Wagen zu ziehen. Auf horizontaler Bahn werden etwa 2 Wagen angenommen, so dass $n_0 = \frac{1}{2}$ zu setzen ist. Wir setzen ferner $P_0 = 0{,}056$ *Tonnen*, $f = 0{,}008$, $w = \frac{1}{3}$. Nach 11. wird alsdann $G_0' = \frac{0{,}5\ .\ 0{,}056}{1{,}333\ .\ 0{,}008} = 2{,}625$ *Tonnen*; und nach §. 70 $G_0 = 1{,}167\ .\ 2{,}625 = 3{,}100$ *Tonnen*. Daher wird nach 16.:

$$32.\quad \begin{cases} \dfrac{c_1}{c_0} = 2 - 5s - \dfrac{0{,}5905}{n} - \dfrac{71{,}81\,s}{n}, \\ \dfrac{c_2}{c_0} = 2 + 5s - \dfrac{0{,}1476}{n} + \dfrac{18{,}45\,s}{n}. \end{cases}$$

Für $s = o$ wird $n = \frac{1}{2}$, daher $v_1 = 0{,}819\,c_0$, $v_2 = 1{,}705\,c_0$, woraus $v = 1{,}106\,c_0$ folgt. Demnach ist nach 15.:

$$33.\quad \frac{l_0}{l} = 1{,}106\,n\left(\frac{c_0}{c_1} + \frac{c_0}{c_2}\right).$$

Hiernach ist für $n = 1, \frac{1}{2}, \frac{1}{3}$ und $\frac{1}{4}$, folgende Tabelle berechnet.

s	$\frac{l_0}{l}$ für					$Min\ \frac{l_0}{l}$
	$n=2$	$n=1$	$n=\frac{1}{2}$	$n=\frac{1}{3}$	$n=\frac{1}{4}$	
+ 0,0407	∞	—	—	—	—	—
+ 0,025	**4,408**	—	—	—	—	4,408
+ 0,020	**3,603**	—	—	—	—	3,603
+ 0,0179	—	∞	—	—	—	—
+ 0,015	**3,126**	5,417	—	—	—	3,126
+ 0,010	2,799	**2,318**	—	—	—	2,318
+ 0,0054	—	—	∞	—	—	—
+ 0,005	2,593	**1,650**	10,11	—	—	1,650
+ 0,0010	—	—	—	∞	—	—
0	2,446	1,372	**1,000**	1,847	—	1,000
— 0,0012	—	—	—	—	∞	—
— 0,005	2,349	1,251	0,699	0,564	**0,515**	0,515
— 0,010	2,319	1,223	0,700	**0,566**	0,580	0,566
— 0,015	2,257	1,270	0,780	**0,747**	1,346	0,747
— 0,0179	—	—	—	—	∞	—
— 0,020	2,400	1,326	**0,902**	1,229	—	0,902
— 0,025	2,450	1,394	**1,103**	7,790	—	1,103

Die grafische Darstellung ist der für Kippkarrentransport ähnlich. Wenn wir wiederum für jedes s das zweckmässigste n wählen, so lässt sich l_0 innerhalb der Grenzen $s = \pm 0{,}025$ allgemein annähernd ausdrücken durch

$$34. \quad \frac{l_0}{l} = 1 + 71s + 3560s^2.$$

Setzen wir noch $c_0 = 1{,}1^m$, so wird $v = 1{,}106\,c_0 = 1{,}22^m$. Daher werden die Kosten pro Tonne: $k = \frac{2\,.\,05}{1{,}22\,.\,3{,}10}\,\frac{l_0 p}{T}$, d. i.

$$35. \quad k = 0{,}264\,\frac{l_0 p}{T}.$$

Wir wollen auch hier noch den Fall untersuchen, dass der Thaltransport dadurch erfolge, dass die beladenen Wagen in Folge ihres Gewichtes thalwärts rollen, wobei eine konstante Geschwindigkeit c_1 durch Bremsen, welches von den auf den Wagen stehenden Bremsern regulirt wird, erhalten werde. Der Rücktransport erfolge durch Pferde mit der Geschwindigkeit c_2. Bezeichnet n die Anzahl der Pferde pro Wagen, n_1 die Anzahl der Bremser pro Wagen, p die täglichen Kosten eines Pferdes incl. Knecht, p_1 den Tagelohn eines Bremsers, so sind die Transportkosten pro Gewichtseinheit

$$k = \frac{(np + n_1 p_1)\,l}{GT}\left(\frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2}\right).$$

Die Kosten des Transportes auf horizontaler Bahn mit der Länge l_0 in der oben behandelten Weise sind

$$k = \frac{2\, n_0\, p\, l_0}{G\, T\, v}.$$

Die Gleichsetzung beider Werthe für k liefert als Verhältniss der reducirten Transportweite l_0' zur wirklichen Transportweite l:

$$36.\quad \frac{l_0'}{l} = \frac{v}{2\, c_0}\left(\frac{c_0}{c_1} + \frac{c_0}{c_2}\right)\frac{n p + n_1 p_1}{n_0 p}$$

und hierin ist

$$37.\quad \frac{c_2}{c_0} = 2 - 5 s - \frac{w G\,(f + s)}{n P_0}.$$

Wir setzen wie oben $n_0 = \frac{1}{2}$, $f = 0{,}008$, $w = \frac{1}{3}$, $P_0 = 0{,}056$ *Tonn.*, $G = 3{,}1$ *Tonn.*, $c_0 = 1{,}1$ *Met.*, $v = 1{,}106\, c_0$. Ausserdem setzen wir $c_1 = 4$ *Met.*, $p_1 = \frac{1}{3}\, p$ und der Neigung der Bahn entsprechend $n_1 = 80\,(s - f) = 80\,(s - 0{,}008)$. Alsdann wird

$$38.\quad \frac{c_2}{c_0} = 2 + 5 s - \frac{0{,}1476}{n} + \frac{18{,}45\, s}{n},$$

$$39.\quad \frac{l_0'}{l} = 0{,}3563\,(3 n + n_1)\left(0{,}276 + \frac{c_0}{c_2}\right).$$

Hiernach ist die folgende Tabelle berechnet, wobei indess nur diejenigen Werthe von n berücksichtigt sind, welchen das Minimum von l_0 entspricht.

s	$\frac{1}{n}$	$\frac{1}{n_1}$	$\frac{l_0'}{l}$	s	$\frac{1}{n}$	$\frac{1}{n}$	$\frac{l_0'}{l}$
− 0,008	3	∞	0,430	− 0,020	2	1	1,273
− 0,010	3	6	0,551	− 0,022	2	1	1,384
− 0,012	3	3	0,701	− 0,024	1	1	1,496
− 0,014	2	2	0,834	− 0,026	1	1	1,538
− 0,016	2	2	0,885	− 0,028	1	0,5	1,979
− 0,018	2	1	1,107	− 0,030	1	0,5	2,041

Nach diesen Zahlen lässt sich annähernd setzen:

$$40.\quad \boldsymbol{\frac{l}{l_0} = -\,46\, s + 890\, s^2}.$$

In Folge der geringeren Geschwindigkeit im Anfange der Thalfahrt wird wieder eine Korrektion nöthig, für welche die Formeln 30. gelten. Setzt man auch hier $c' = 1$ *Met.*, $c_1 = 4$ *Met.*, $g = 9{,}81$ *Met.* und durchschnittlich $c_2 = c_0$ (c_2 schwankt zwischen $0{,}87\, c_0$ und $1{,}29\, c_0$), so wird:

$$41.\quad \begin{cases} l > \dfrac{0{,}764}{s - f}\colon\ l_0 = l_0'\left[1 + \dfrac{0{,}1}{(s - 0{,}008)\, l}\right], \\[2ex] l < \dfrac{0{,}764}{s - f}\colon\ l_0 = l_0'\left[0{,}787 + 0{,}881\, \dfrac{\sqrt{1 + 19{,}62\,(s - f)\, l} - 1}{(s - f)\, l}\right]. \end{cases}$$

Hiernach ergibt sich:

		$s =$	0,010	0,014	0,018	0,022	0,026	0,030
$l =$	100 Met.	$l_0 =$	1,323	1,222	1,100	1,072	1,055	$1,050 \,.\, l_0'$
$l =$	500 „	$l_0 =$	1,100	1,033	1,020	1,012	1,011	$1,010 \,.\, l_0'$
$l =$	1000 „	$l_0 =$	1,050	1,017	1,010	1,007	1,006	$1,005 \,.\, l_0'$.

Für $s = 0{,}008$ ergibt sich statt der Angaben in obiger Tabelle nach der zweiten der Formeln 41: $n = \frac{1}{4}$, $l_0 = 0{,}609\, l$.

Es tritt zwar auch noch am Ende der Fahrt ein geringer Zeitverlust in Folge des allmähligen Anhaltens durch stärkeres Bremsen ein; indess lässt sich dieser konstante Zeitverlust mit in den Zeitverlust beim Abladen einrechnen.

Rziha gibt in seinem „Tunnelbau“ I. Bd. S. 619 folgende Zahlen:

$s =$	+ 0,02	+ 0,01	0	− 0,01	− 0,02	− 0,03
$l_0 =$	3,60	2,05	1	1,25	1,78	$2{,}18 \,.\, l$.

Hierbei ist vorausgesetzt, dass auch beim Thaltransporte die Pferde ziehen.

§. 76. Schubkarrentransport. Hier hat jeder Arbeiter in der Regel eine Karre zu schieben; nur bei sehr steiler Bahn lässt man wohl einen Arbeiter ziehen. Die Räder laufen meist auf Fahrdielen. Hier sind die Formeln 8 bis 10 in Anwendung zu bringen; L ist dabei der von den Händen des Arbeiters aufzunehmende Vertikaldruck, welcher daher rührt, dass sich der Schwerpunkt der Last zwischen den Händen und der Radaxe befindet. Wir nehmen an, dass L das $\varkappa$fache der Last sei. Für den Transport auf horizontaler Bahn bei voller Hin- und Rückfahrt wird nach Formel 10:

$$\frac{c}{c_0} = 2 - (1 + w)\left(\frac{f}{P_0} + \frac{\varkappa}{L_0}\right) G_0',$$

$$G_0' c = 2\, G' c_0 - (1 + w)\left(\frac{f}{P_0} + \frac{\varkappa}{L_0}\right) G_0'^2 c_0.$$

Hiernach wird $G'c$ zum Maximum für

$$42. \quad G_0' = \frac{1}{(1 + w)\, \alpha},$$

wenn man zur Abkürzung $\frac{f}{P_0} + \frac{\varkappa}{L_0} = \alpha$ setzt. Dieser Ladung entspricht die Geschwindigkeit $c = c_0$. Die in §. 70 durchgeführte Untersuchung gilt auch hier noch, wenn man $G_0 \alpha$ für $G_0 \frac{f}{P_0}$ und $G_0' \alpha$ für $G_0' \frac{f}{P_0}$ setzt. Da auch hier w durchschnittlich $= 0{,}5$ ist, so ergibt sich $G_0 = 1{,}164\, G_0'$, oder, da $G_0' (1 + w)\, \alpha = 1$ ist, $G_0 (1 + w)\, \alpha = 1{,}164$ oder $(G_0 + W)\, \alpha = 1{,}164$ oder

$$43. \quad G_0 = \frac{1{,}164}{\alpha} - W = \frac{1{,}164\, P_0 L_0}{L_0 f + P_0 \varkappa} - W.$$

Setzen wir $f = 0{,}045$, $P_0 = 0{,}014$, $L_0 = 0{,}04$ und $W = 0{,}04$ *Tonnen*, so wird

$$44. \quad G_0 = \frac{0{,}326 - 0{,}312\,\varkappa}{1 + 7{,}8\,\varkappa}.$$

Hiernach ergibt sich für

$$45. \quad \begin{cases} \varkappa = & 0 & \frac{1}{10} & \frac{1}{5} & \frac{1}{4} & \frac{1}{3} \\ G_0 = & 0{,}326 & 0{,}164 & 0{,}103 & 0{,}084 & 0{,}062 \text{ Tonnen,} \end{cases}$$

so dass das Verhältniss $\varkappa$ einen wesentlichen Einfluss auf die Grösse der Ladung G_0 ausübt. Bei den angewendeten Karren ist $\varkappa = \frac{1}{5}$ bis $\frac{1}{3}$, durchschnittlich $\frac{1}{4}$. Wir wollen daher im Folgenden $\varkappa = 0{,}25$, also $G_0 = 0{,}084$ *Tonnen* setzen. Die Formeln 8 bis 10. geben alsdann, wenn man $G = xG_0 = 0{,}084\,x$ setzt,

$$46. \quad \begin{cases} c_1 = (1{,}621 - 1{,}571\,s - 9{,}464\,G - 89{,}29\,Gs)\,c_0 \\ \quad = (1{,}621 - 1{,}571\,s - 0{,}795\,x - 7{,}500\,xs)\,c_0, \\ c_2 = (1{,}621 - 8{,}571\,s)\,c_0. \end{cases}$$

Ist bei der Thalfahrt die Neigung s grösser, als der Reibungskoefficient f, so muss die Karre, anstatt geschoben, zurückgehalten werden; alsdann aber ist in Formel 10. das Glied $\frac{(W + G)(f + s)}{nP_0}$ mit entgegengesetztem Vorzeichen einzuführen. Es wird alsdann:

$$46\text{a.} \quad \begin{cases} \textit{Bergtransport: } s > 0{,}045\text{: } c_2 = (1{,}879 + 2{,}857\,s)\,c_0 \\ \textit{Thaltransport: } -s > 0{,}045\text{: } c_1 = (1{,}879 - 3{,}857\,s - 0{,}255\,x \\ \qquad\qquad + 4{,}5\,xs)\,c_0. \end{cases}$$

Für $s = 0$ wird $x = 1$, also $v_1 = 0{,}826\,c_0$, $v_2 = 1{,}621\,c_0$ und hiernach $v = 1{,}094\,c_0$; daher wird nach Formel 3.

$$47. \quad \frac{l_0}{l} = 0{,}547\left(\frac{c_0}{c_1} + \frac{c_0}{c_2}\right)\frac{1}{x}.$$

Setzt man die Ausdrücke für c_1 und c_2 ein und setzt den Differenzialquotienten nach $x = 0$, so ergibt sich für x eine Gleichung dritten Grades. Hiernach ist nun die folgende Tabelle berechnet:

s	x für Min l_0	Min $\frac{l_0}{l}$	$\frac{l_0}{l}$ für $x = 1$
+ 0,10	0,26	6,680	—
+ 0,08	0,36	4,260	—
+ 0,06	0,49	2,820	—
+ 0,04	0,62	2,076	5,640
+ 0,02	0,88	1,363	1,406
0	1	1	1
— 0,02	1,67	0,690	0,862
— 0,04	2,45	0,477	0,808
— 0,06	2,55	0,307	0,865
— 0,08	2,20	0,166	0,960
— 0,10	2,13	0,036	1,076

Auch bei anderen Werthen von $\varkappa$ ergeben sich die Werthe von $\frac{l_0}{l}$ nicht wesentlich verschieden; so z. B. ergibt sich für $s = +0{,}08$ für $\varkappa = 0{,}1$: $x = 0{,}030$, $l_0 = 4{,}472\,l$, für $\varkappa = 0{,}2$: $x = 0{,}35$, $l_0 = 4{,}172\,l$, für $\varkappa = 0{,}25$: $x = 0{,}36$, $l_0 = 4{,}180\,l$ und für $\varkappa = 0{,}333$: $x = 0{,}37$, $l_0 = 4{,}358\,l$. Die sich für negative s ergebende zweckmässigste Ladung lässt sich natürlich des zu geringen Karrenraumes wegen nicht anwenden, so dass für negative s diejenigen Werthe für l_0 beizubehalten sind, welche sich für $x = 1$ ergeben.

Wollte man l_0 für positive und negative s durch einen einzigen Ausdruck von der Form $l_0 = l\,(1 + As + Bs^2)$ darstellen, so würde sich nach der Methode der kleinsten Quadratsummen $l_0 = l\,(1 + 21s + 263\,s^2)$ ergeben. Wesentlich genauer wird l_0 durch den Ausdruck $l_0 = l\,(1 + 11s + 263\,s^2 + 1600\,s^3)$ dargestellt. Indess erscheint es hier rathsamer, verschiedene Ausdrücke für positive und negative s aufzustellen, weil das Gesetz ein verschiedenes ist, da bei negativen s einestheils die Ladung nicht grösser genommen werden kann, als bei horizontaler Bahn, anderntheils, weil hier das Hemmen einen wesentlichen Einfluss hat. Es ergibt sich alsdann:

$$48.\quad \begin{cases} \textit{Positive } s\colon\ \dfrac{l_0}{l} = 1 + 13\,s + 325\,s^2; \\ \textit{Negative } s\colon\ \dfrac{l_0}{l} = 1 + 9\,s + 106\,s^2. \end{cases}$$

Setzen wir $G_0 = 0{,}084$ *Tonn.* $c_0 = 0{,}7^m$, $v = 1{,}094$, $c_0 = 0{,}765^m$, so werden die Transportkosten einer Tonne: $k = \frac{2\,.\,1\,.\,l_0 p}{0{,}765\,.\,0{,}084\,.\,T}$, d. i.

$$49.\quad k = 31{,}10\,\frac{l_0 p}{T},$$

wobei T in Sekunden zu nehmen ist.

Nach Rziha (Tunnelbau, I. Bd. S. 615) ist

$s =$	$+0{,}12$	$+0{,}10$	$+0{,}08$	$+0{,}06$	$+0{,}04$	$+0{,}02$	
$l_0 =$	$11{,}80$	$9{,}20$	$7{,}20$	$5{,}22$	$3{,}30$	$1{,}60\,.\,l$	
$s =$	0	$-0{,}02$	$-0{,}04$	$-0{,}06$	$-0{,}08$	$-0{,}10$	$-0{,}12$
$l_0 =$	1	$1{,}28$	$1{,}80$	$2{,}45$	$3{,}25$	$4{,}00$	$4{,}70\,.\,l.$

Diese Zahlen sind durch Interpolation zwischen den dort angegebenen gefunden. Diese Bemerkung gilt auch für §. 72, 74 und 75.

§. 77. Allgemeine Schlüsse. Die reducirte Transportweite lässt sich bei sehr kleinen Neigungen, entsprechend dem §. 68, durch die Form $l_0 = l + Als$ oder

$$50.\quad l_0 = l + Ah$$

darstellen, wenn h die Transporthöhe bedeutet. Der Koefficient A ist

um so grösser, je kleiner der Reibungskoefficient ist. Vernachlässigt man in 6. das Glied $5s$ gegen $2.$ und setzt für nP_0 den Werth aus 11. ein, so ist c_1, c_2 nur von dem Verhältnisse $\frac{s}{f}$ abhängig, so dass sich für gleiche Werthe von $\frac{s}{f}$ auch $\frac{l_0}{l}$ gleich gross ergeben muss. Für kleine s wird daher $\frac{l_0}{l} = 1 + B\frac{s}{f}$, so dass $A = \frac{B}{f}$ ist. Nach den gemachten Berechnungen liegt Af zwischen $0{,}57$ und $0{,}80$ und ist im Mittel $0{,}70$, also allgemein nahezu

$$50.\quad \frac{l_0}{l} = 1 + 0{,}70\,\frac{s}{f}.$$

Bei grossen Neigungen ist genauer

$$51.\quad \boldsymbol{\frac{l_0}{l} = 1 + As + Bs^2}.$$

Hierbei liegt B zwischen $\frac{0{,}56}{f^2}$ und $\frac{0{,}23}{f^2}$ und ist im Mittel $\frac{0{,}43}{f^2}$.

Die Koefficienten A und B ergeben sich sonach um so grösser, je vollkommener die Transportweise ist, d. h. je kleiner der Reibungskoefficient f ist, und zwar ist annähernd A umgekehrt proportional dem Reibungskoefficienten, B umgekehrt proportional dem Quadrate des Reibungskoefficienten.

Die kleinste reducirte Transportweite ergibt sich beim Thaltransporte, wenn die Neigung $s_0 = \frac{A}{2B}$ ist. Diese Neigung ergibt sich folgendermaassen:

Schubkarrentransport . . $s_0 = -0{,}042 = -0{,}93\,f$, $\min l_0 = 0{,}809\,l$
Handkippkarrentransport $s_0 = -0{,}029 = -0{,}72\,f$, $\min l_0 = 0{,}714\,l$
Pferdekarrentransport . . $s_0 = -0{,}024 = -0{,}80\,f$, $\min l_0 = 0{,}700\,l$
Interimsbahn $s_0 = -0{,}007 = -1{,}25\,f$, $\min l_0 = 0{,}59\,l$ bis $0{,}65\,l$.

Allgemein ist hiernach diese günstigste Neigung nahezu $0{,}90\,f$ und zwar ist nahezu $\min l_0 = 0{,}70\,l$.

Für die praktische Anwendung kann es zweckmässig sein, auch für grössere Neigungen die Reduktionsformel

$$52.\quad l_0 = l + Dh = l\,(1 + Ds)$$

anzuwenden und dabei für D einen mit der Neigung variabelen Werth einzuführen. Der Vergleich mit der Formel $l_0 = l\ (1 + As + Bs^2)$ gibt $D = A + Bs$. Der Werth von D ist für verschiedene Transportarten und verschiedene Neigungen in folgender Tabelle angegeben.

Neigung	Schubkarren		Kippkarren		Pferdekarren		Interimsbahn Menschen		Interimsbahn Pferde	
	Bergtr.	Thaltr.	Bergtr.	Thaltr.	Bergtr.	Thaltr.	Bergtr.	Thaltr.	Bergtr.	Thaltr.
0	13	9	20	20	25	25	80	80	71	71
0,002	14	9	21	19	26	24	88	72	78	64
0,004	14	9	21	19	27	23	95	64	85	57
0,006	15	8	22	18	28	22	103	57	92	50
0,008	16	8	22	18	29	21	111	49	99	43
0,010	16	8	23	17	30	20	119	41	107	35
0,012	17	8	24	16	31	19	126	33	114	25
0,014	17	8	25	15	32	18	134	26	121	13
0,016	18	7	26	14	33	17	142	19	128	— 2
0,018	19	7	26	14	34	16	150	13	135	— 8
0,020	19	7	27	13	35	15	157	8	144	— 14
0,022	20	7	28	12	36	14	165	4	149	— 20
0,024	21	6	28	12	38	12	173	1	156	— 26
0,026	21	6	29	11	39	11	180	— 2	164	— 31
0,028	22	6	30	10	40	10	188	— 4	171	— 35
0,030	23	6	30	10	41	9	196	— 6	178	— 39

Bei den Interimsbahnen sind für den Thaltransport, wenn $-s > 0{,}008$ ist, die Formeln 29 und 40 zu Grunde gelegt.

Bei grossen Steigungen können die gefundenen Resultate allerdings viel von der Wahrheit abweichen, da die empirische Gleichung 4 nur für Werthe von P und c zulässig ist, welche von den mittleren nicht sehr viel verschieden sind. Die grössten Steigungen, auf welchen noch transportirt werden kann, sind in Wirklichkeit *2 bis 3*mal so gross, als die in den Tabellen zu §. 72 bis 76 aufgestellten Werthe, weil bei Leistungen von nur kurzer Dauer in der Gleichung 4. statt der Zahl *2* nach Gerstner die Zahl *4*, nach Maschek die Zahl *3* zu setzen ist.

§. 78. Zweckmässigste Transportweite. Wir wollen jetzt voraussetzen, dass die Transporthöhe h gegeben und die Transportweite l so zu bestimmen sei, dass die Transportkosten k oder die reducirte Transportweite l_0 ein Minimum werden. Nach 28. ist, da $h = ls$ ist,

$$l_0 = l\,(1 + As + Bs^2)$$
$$= l \pm Ah + B\,\frac{h^2}{l},$$

wobei im zweiten Gliede das obere Zeichen für Bergtransport, das untere für Thaltransport gilt. Hiernach ist $\frac{dl_0}{dl} = 1 - B\,\frac{h^2}{l^2}$; also wird l_0 zum Minimum für

$$53. \quad l = h\sqrt{B}.$$

Die Einsetzung dieses Werthes von l gibt

54. $\min l_0 = (2\sqrt{B} \pm A)h = \left(2 \pm \frac{A}{\sqrt{B}}\right)l.$

Für die einzelnen Transportarten wird:

Transportweise	$\frac{l}{h}$	Bergtransport $\frac{l_0}{h}$	Bergtransport $\frac{l_0}{l}$	Thaltransport $\frac{l_0}{h}$	Thaltransport $\frac{l_0}{l}$
Schubkarrentransport	*18—10*	*49*	*2,72*	*12*	*1,13*
Handkippkarrentransport	*18,7*	*57*	*3,07*	*17*	*0,91*
Pferdetransport	*22,8*	*71*	*3,10*	*21*	*0,92*
Interimsbahnen	*61,0*	*197*	*3,24*	*46*	*0,79*

Hiernach ist für die drei ersten Transportweisen beim Bergtransporte durchschnittlich eine Neigung von $\frac{1}{20} = 0{,}05$ die zweckmässigste.

Diese zweckmässigste Transportweite l ist natürlich nur dann möglich, wenn die direkte Entfernung zwischen Auf- und Abtrag höchstens ebenso gross ist als l, was allerdings meist nur beim Quertransporte eintreten kann, worüber später.

§. 79. Variabele Steigung. Die Gleichungen 16. für c_1 und c_2 haben in einer beliebigen Strecke auch hier Gültigkeit. Die Summe $\frac{c_0}{c_1} + \frac{c_0}{c_2}$ lässt sich durch Reihenverwandlung auf folgende Form bringen

$$\frac{c_0}{c_1} + \frac{c_0}{c_2} = K(1 + Ms + Ns^2 + \ldots).$$

Hierbei sind in den Koefficienten K, M, N, . . . die Grössen G, W, P_0, f, n enthalten. Für $s = o$ wird $\frac{c_0}{c_1} + \frac{c_0}{c_2} = 2\frac{c_0}{v} = K_0$ oder $\frac{v}{c_0} = \frac{2}{K_0}$. Demnach wird nach 3.:

$$55.\quad l_0 = [(1 + Ms' + Ns'^2 + \ldots)\, l' + (1 + Ms'' + Ns''^2 + \ldots)\, l'' + \ldots] \frac{nG_0K}{n_0GK_0}.$$

Nun aber ist $l' + l'' + \ldots$ die gesammte Weglänge l, $l's' + l''s'' + \ldots$ die gesammte absolute Steigung h. Daher wird, wenn wir zur Abkürzung $\frac{nG_0K}{n_0GK_0} = R$ setzen,

$$l_0 = R\,[l + Mh + N(l's'^2 + l''s''^2 + \ldots) + \ldots].$$

Wir bezeichnen die mittlere Steigung $\frac{h}{l}$ mit s und setzen $s' = s + \sigma'$, $s'' = s + \sigma''$, . ., so dass σ', σ'' die Abweichungen der einzelnen Steigungen von der mittleren Steigung bedeuten. Alsdann ist $l's'^2 + l''s''^2 + \ldots\ldots = ls^2 + 2(l'\sigma' + l''\sigma'' + \ldots\ldots)\,s + (l'\sigma'^2 + l''\sigma''^2 + \ldots)$. Nun aber ist $ls = l's' + l''s'' + \ldots = ls + (l'\sigma' + l''\sigma'' + \ldots)$,

also $l'\sigma' + l''\sigma'' + .. = o$. Demnach wird bei Vernachlässigung höherer Potenzen

$$l_0 = Rl\,[1 + Ms + N(s^2 + \frac{l'}{l}\sigma'^2 + \frac{l''}{l}\sigma''^2 + ..)].$$

Die Koefficienten R, M, N sind, wie bereits bemerkt, von G abhängig. G aber ist, wenn man immer das zweckmässigste G wählt, für welches l_0 zum Minimum wird, von den in der Gleichung für l_0 vorkommenden Variabelen s, s^2 und $\frac{l'}{l}\sigma'^2 + \frac{l''}{l}\sigma''^2 + .. = S^2$ abhängig, wenn wir S zur Abkürzung einführen. Demnach würden sich bei Vernachlässigung höherer Potenzen von s und S die Koefficienten R, M, N darstellen lassen in der Form

$$\alpha + \beta s + \gamma s^2 + \delta S^2,$$

wobei α, β, γ, δ natürlich für jeden der drei Koefficienten verschiedene Werthe haben. Für R hat α den Werth 1, weil für $s = o$, $S = o$ offenbar $l_0 = l$ werden muss. Führt man nun diese Ausdrücke für R, M, N im Ausdrucke für l_0 ein, so ergibt sich, wenn nun A, B, C neue, von G und den Steigungen unabhängige Koefficienten bezeichnen und wenn wir zur Abkürzung $l'\sigma'^2 + l''\sigma''^2 + .. = \Sigma l\sigma^2$ setzen,

$$56.\quad \boldsymbol{l_0 = (1 + As + Bs^2)\,l + C\Sigma l\sigma^2}.$$

Sind die Steigungen sehr klein, so kann man s^2 und $\Sigma l\sigma^2$ vernachlässigen und erhält

$$57.\quad \boldsymbol{l_0 = l + Ah}.$$

Bei kleinen Steigungen kann also die Reduktion ebenso vorgenommen werden, als wenn die Bahn eine der mittleren Steigung s gleiche konstante Steigung hätte.

Lässt man bei verschiedenen Steigungen die Grössen W, G, n konstant, so wird $nKG_0 = n_0K_0G$, also $R = 1$, folglich nach der Gleichung 32.:

$$58.\quad l_0 = (1 + Ms' + Ns'^2 + ..)\,l' + (1 + Ms'' + Ns''^2 + ..)\,l'' + \ldots$$

Hieraus folgt: Die reducirte Transportweite ist bei konstantem W, G und n gleich der Summe der einzelnen reducirten Strecken. Es ist also hier nur nöthig, nach den früher gegebenen Regeln oder Tabellen jede einzelne Strecke zu reduciren und die erhaltenen Werthe zu addiren.

§. 80. Bestimmung des Koefficienten C. Die Koefficienten A und B sind bereits früher bestimmt; den Koefficienten C bestimmt man am besten durch Annahme zweier gleich langer Strecken mit gleichen, dem Vorzeichen nach aber entgegengesetzten Steigungen. Ist jede Steigung

$= \sigma$, so wird $l' = l'' = \frac{1}{2} l$, $\sigma' = + \sigma$, $\sigma'' = - \sigma$, also $s = 0$, $\Sigma l \sigma^2 = \frac{1}{2} l (+ \sigma^2) + \frac{1}{2} l (- \sigma)^2 = l \sigma^2$, mithin

$$59. \quad l_0 = l (1 + C \sigma^2).$$

a. Handkippkarrentransport. Für eine bestimmte angenommene Anzahl von Leuten geschieht die Reduktion durch Reduktion jeder einzelnen Strecke in der früher angegebenen Weise. Ist z. B. $n = 2$, $\sigma = 0{,}02$, so ist nach der Tabelle zu §. 71. für die erste Strecke $(s = + 0{,}02) : l_0 = 3{,}591 \cdot \frac{1}{2} l = 1{,}796\ l$ und für die zweite Strecke $(s = - 0{,}02) : l_0 = 0{,}782 \cdot \frac{1}{2} l = 0{,}391\ l$, also $l_0 = 1{,}796\ l + 0{,}391\ l = 2{,}187\ l$. Hiernach ist die folgende Tabelle berechnet. Für $n = 1$ wird stets $l_0 = \infty$.

σ	$\frac{l_0}{l}$			$Min\ \frac{l_0}{l}$
	$n = 2$	$n = 3$	$n = 4$	
0	1,000	1,150	1,393	1,000
0,01	1,130	1,183	1,409	1,130
0,02	2,187	1,287	1,463	1,287
0,025	∞	. .	. .	. .
0,03	—	1,539	1,568	1,539
0,04	—	2,318	1,758	1,758
0,05	—	3,494	2,148	2,148
0,051	—	∞	. .	. .
0,06	—	—	3,617	3,617
0,073	—	—	∞	. .

Behält man stets nur die Minima von l_0 bei und setzt $l_0 = l (1 + C \sigma^2)$, so lässt sich C genau wie das A und B in §. 72. nach der Methode der kleinsten Quadratsummen bestimmen*). Es ergibt sich hierdurch $C = 480$, also

$$60. \quad \boldsymbol{l_0 = (1 + 20\, s + 350\, s^2)\, l + 480\, \Sigma\, l \sigma^2}.$$

b) Ganz in derselben Weise lässt sich C für andere Transportweiten bestimmen. Man findet für den Pferdekarrentransport $C = 832$, also

$$61. \quad \boldsymbol{l_0 = (1 + 25\, s + 520\, s^2)\, l + 832\, \Sigma\, l \sigma^2},$$

*) Beziehen wir uns auf die Anmerkung auf Seite 74, so wird im vorliegenden Falle $y - 1$ für ein gleiches positives und negatives x gleich gross, daher $\Sigma\, [(y - 1)\, x] = o$, also auch $A = o$. Setzen wir ferner C für B, so wird

$$C = \frac{\Sigma\, [(y - 1)\, x^2]}{\Sigma\, x^4},$$

und wenn man die Differenz der auf einander folgenden x unendlich klein annimmt,

$$C = \frac{5}{a^5} \int_0^a (y - 1)\, x^2\, d\, x.$$

für den Transport auf Interimsbahnen durch Menschen $C = 4990$, also

62. $\boldsymbol{l_0 = (1 + 80\,s + 3870\,s^2)\,l + 4990\,\Sigma\,l\,\sigma^2},$

desgl. durch Pferde $C = 4740$, also

63. $\boldsymbol{l_0 = (1 + 71\,s + 3560\,s^2)\,l + 4740\,\Sigma\,l\,\sigma^2}$

und endlich für Schubkarrentransport $C = 362$, also

64. $\begin{cases} \textit{Bergtransp.}\ \boldsymbol{l_0 = (1 + 13\,s + 325\,s^2) + 362\,\Sigma\,l\,\sigma^2}, \\ \textit{Thaltransp.}\ \boldsymbol{l_0 = (1 + 9\,s + 106\,s^2) + 362\,\Sigma\,l\,\sigma^2}. \end{cases}$

In §. 77. wurde bereits gezeigt, dass c_1 und c_2 annähernd nur von $\frac{s}{f}$, nicht von s abhängen, also auch $\frac{l_0}{l}$ nur von $\frac{s}{f}$ abhängt, so dass A dem f, B und C dem f^2 nahezu umgekehrt proportional sind.

Ist der Grundriss der Bahn zwischen zwei Punkten gegeben, so ist die Bahn mit konstanter Steigung in Beziehung auf den Transport die beste, da für diese das Glied $C\Sigma l\sigma^2$ wegfällt. Je mehr die einzelnen Steigungen von dieser mittleren Steigung abweichen, desto grösser wird die reducirte Transportweite.

Um ein Urtheil über die Grösse des letzten Gliedes $C\Sigma l\sigma^2$ zu erhalten, wollen wir annehmen, dass nur Strecken mit den beiden Steigungen s_1 und s_2 vorkommen; die Summen der Längen dieser Strecken seien l_1 und l_2. Alsdann ist $ls = l_1 s_1 + l_2 s_2$. Daher werden die Abweichungen der einzelnen Steigungen von der mittleren Steigung $\sigma_1 = s_1 - s = s_1 - \frac{l_1 s_1 + l_2 s_2}{l_1 + l_2} = + \frac{l_2 (s_1 - s_2)}{l}$, $\sigma_2 = s_2 - s = s_2 - \frac{l_1 s_1 + l_2 s_2}{l_1 + l_2} = - \frac{l_1 (s_1 - s_2)}{l}$, also $\Sigma_1 l\sigma^2 = \left(\frac{s_1 - s_2}{l}\right)^2 (l_1 l_2^2 + l_2 l_1^2)$, d. i.

$$\Sigma l\sigma^2 = \frac{l_1 l_2 (s_1 - s_2)^2}{l}.$$

Da $l_2 = l - l_1$, also $l_1 l_2 = l_1 (l - l_1)$ ist, so wird $l_1 l_2$ zum Maximum für $l - 2l_1 = o$, also $l_1 = l_2 = \frac{1}{2}\,l$. Sonach wird

$$max\ \Sigma_1 l\,\sigma^2 = \frac{1}{4}\,l\,(s_1 - s_2)^2.$$

Lassen wir nun in der Bestimmung der reducirten Transportweite einen Fehler von etwa $0{,}02\,l$ zu, was recht wohl zulässig ist, so würden wir $\frac{1}{4}\,Cl\,(s_1 - s_2)^2 = 0{,}02\,l$, also

$$s_1 - s_2 = \frac{0{,}283}{\sqrt{C}}$$

zu setzen haben. Führen wir für C den gefundenen Werth ein, so ergibt sich für Schubkarrentransport $s_1 - s_2 = 0{,}013$, für Handkippkarrentransport $s_1 - s_2 = 0{,}012$, für Pferdekarrentransport $s_1 - s_2 = 0{,}010$, für Pferdetransport auf Interimsbahnen $s_1 - s_2 = 0{,}004$, so dass also für die drei ersten Transportarten ein Unterschied von $\frac{1}{100}$, in der letzten

Transportart ein Unterschied von $\frac{1}{250}$ in den Steigungen zulässig ist, ohne das letzte Glied $C \Sigma l \sigma^2$ berücksichtigen zu müssen.

Schlussbemerkung. Die eben geführten Untersuchungen beruhen hauptsächlich auf der empirischen Kraftformel 4, deren Genauigkeit wohl noch Einiges zu wünschen übrig lässt. Eine hinreichende Kontrole derselben durch direkte bei den Erdbauten gewonnene Erfahrungen ist leider zur Zeit noch nicht möglich; allerdings sind bei den vielen bis jetzt zur Ausführung gebrachten Erdbauten wohl reiche Erfahrungen gemacht worden, jedoch sind dieselben, um darauf eine Theorie basiren zu können, viel zu unvollständig mitgetheilt worden.

VII. Kapitel.

Die Massenvertheilung.

§. 81. Systeme der Massenvertheilung. Bei der Vertheilung der Auf- und Abtragsmassen können zwei Systeme zur Anwendung kommen. Bei dem einen verwendet man die in den Einschnitten gewonnene Masse zur Bildung der Aufträge, so dass man dieses System das Ausgleichsystem nennen kann. Bei dem anderen gewinnt man das zur Bildung der Aufträge nöthige Material aus seitlichen Gruben, sogen. Materialgruben, und lagert das in den Einschnitten gewonnene Material seitlich zu sogen. Seitenablagerungen ab; wir können dieses System das System des Seitentransportes nennen. Die Anwendung des einen und des andern Systems ist durch folgende Umstände bestimmt:

1. Wenn der Abtragsboden zur Bildung der Aufträge ungeeignet ist, so kann das System des Seitentransportes, falls sich hierbei mehr geeigneter Boden vorfindet, vorzuziehen sein.

2. Wenn das Abtragsmaterial zur Bildung der Aufträge sehr weit zu transportiren ist, so können die Kosten durch Anwendung des Seitentransportes verringert werden. Die Transportweite, bei deren Ueberschreitung dieser Fall eintritt, ist durch die Kosten des Grund und Bodens, die Grösse der Massen etc. bestimmt und wird bei Besprechung der Kosten ermittelt werden.

3. Wenn es auf möglichst schnelle Vollendung der ganzen Anlage oder auch nur einzelner Einschnitte oder Aufträge ankommt, so wird meist das System des Seitentransportes vorzuziehen sein, weil sich hier mehr Arbeiter unterbringen lassen.

4. Wenn der Anwendung des Ausgleichsystemes Hindernisse, namentlich die Nichtvollendung von Brücken und Tunneln, im Wege stehen,

so muss zum Seitentransporte gegriffen werden. Ein Abwarten der Vollendung der Brücken etc. kann die Eröffnung der Bahn oft weit in die Länge ziehen, oder es wenigstens unmöglich machen, dass den Aufträgen vor der Eröffnung einige Zeit zum Setzen gegeben wird.

5. Es ist nicht immer möglich, die Anordnung so zu treffen, dass ein vollständiger Ausgleich zwischen Auf- und Abtrag eintritt. Verschiedene Umstände, die wir hier nicht näher erörtern wollen, können hierzu beitragen. In diesem Falle bleibt aber nichts übrig, als theilweisen Seitentransport anzuwenden.

Sonach werden im Allgemeinen bei derselben Bahn beide Systeme gleichzeitig zur Anwendung kommen. In Gebirgsbahnen sind die Auf- und Abträge meist kurz und die Breiten für die Auf- und Abträge, sowie für die Seitenabnahmen und Seitenablagerungen sehr gross, so dass hier das Ausgleichsystem meist vorwiegen wird. Bei Bahnen im Flachlande kann das Umgekehrte eintreten.

Der Transport der Massen findet hiernach entweder in der Längsrichtung der Bahn oder in einer mehr oder weniger zur Bahn senkrechten Richtung statt. Wir unterscheiden daher Längen- und Quertransport. Der erstere findet vorzugsweise beim Ausgleichsysteme, der letztere beim Systeme des Seitentransports, aber auch beim Ausgleichsysteme statt, wenn in demselben Profile Auf- und Abtrag gleichzeitig vorkommen, wie bei Gräben neben Aufträgen und in Anschnitten.

§. 82. Auflockerung des Bodens. Wenn eine aus einem Abtrage entnommene Erdmasse zur Bildung eines Auftrages verwendet wird, so nimmt sie in diesem ein grösseres Volumen ein. Jedoch tritt im Auftrage theils durch besonders angewendete Mittel (wie Stampfen, Walzen, Begiessen), theils durch das eigene Gewicht und die Belastung, theils durch den Einfluss der Witterung wiederum eine Verminderung des Volumens ein. Auf diesen Umstand ist natürlich bei der Massenvertheilung Rücksicht zu nehmen. Die schliesslich verbleibende Vergrösserung lässt sich in Theilen des anfänglichen Volumens etwa folgendermassen annehmen:

Sand, Kies	0,01
Dammerde, Gerölle	0,03
Thonige Erde	0,05
Fester Thon, Lehm, Mergel	0,07
Milder Felsen	0,10
Mittelfester Felsen	0,17
Fester Felsen	0,25

Natürlich finden vielfache Uebergänge statt. Wir kommen auf dieses Thema bei der Ausführung der Erdbauten zurück.

§. 83. Das Massen- und Vertheilungs-Profil. Die Vertheilung der Massen lässt sich auf dem Wege der Rechnung und auf dem Wege der Konstruktion vornehmen. Wir besprechen insbesondere den letztern Weg nach der zuerst vom baierischen Ingenieur Bruckner angewendeten, sehr rationellen Methode.

Trägt man die Grösse der Querprofile an der betreffenden Stelle als Ordinate auf und verbindet die so erhaltenen Punkte, so entspricht die zwischen zwei Ordinaten liegende Fläche der zwischen den betreffenden Profilen liegenden Masse. Wir nennen daher diese Figur, wie bereits in §. 66. bemerkt, das Massenprofil. Man erhält durch dasselbe über die Grösse und Lage der Massen eine viel vollständigere Vorstellung, als durch das Längenprofil.

Wenn in einem Profile gleichzeitig Auf- und Abtrag vorkommt, so ist es zweckmässig, beides getrennt aufzutragen; ausserdem ist aber auch noch die Differenz beider Massen aufzutragen, da die Differenz offenbar der Masse entspricht, welche in der Längsrichtung der Bahn zu transportiren ist, während die kleinere von beiden Massen durch Quertransport verführt wird. Die Abtragsprofile vergrössert man beim Auftragen um die Auflockerung.

Sind in demselben Profile verschiedene Bodenkategorien vorhanden, so müssen diese gesondert aufgetragen werden. Für das von uns gewählte Beispiel ist das Massenprofil auf Taf. IV dargestellt.

Trägt man die zwischen einem bestimmten, als Anfang gewählten Punkte und einem beliebigen Profile liegende Gesammtmasse an letzterem als Ordinate auf, wobei indess Auf- und Abtrag mit entgegengesetztem Vorzeichen einzuführen sind, so entsteht eine neue Kurve, welche wir das Vertheilungsprofil nennen (Fig. 84). Dasselbe hat folgende Eigenschaften:

1. Das Vertheilungsprofil ist im Auftrage fallend, im Abtrage steigend oder umgekehrt.

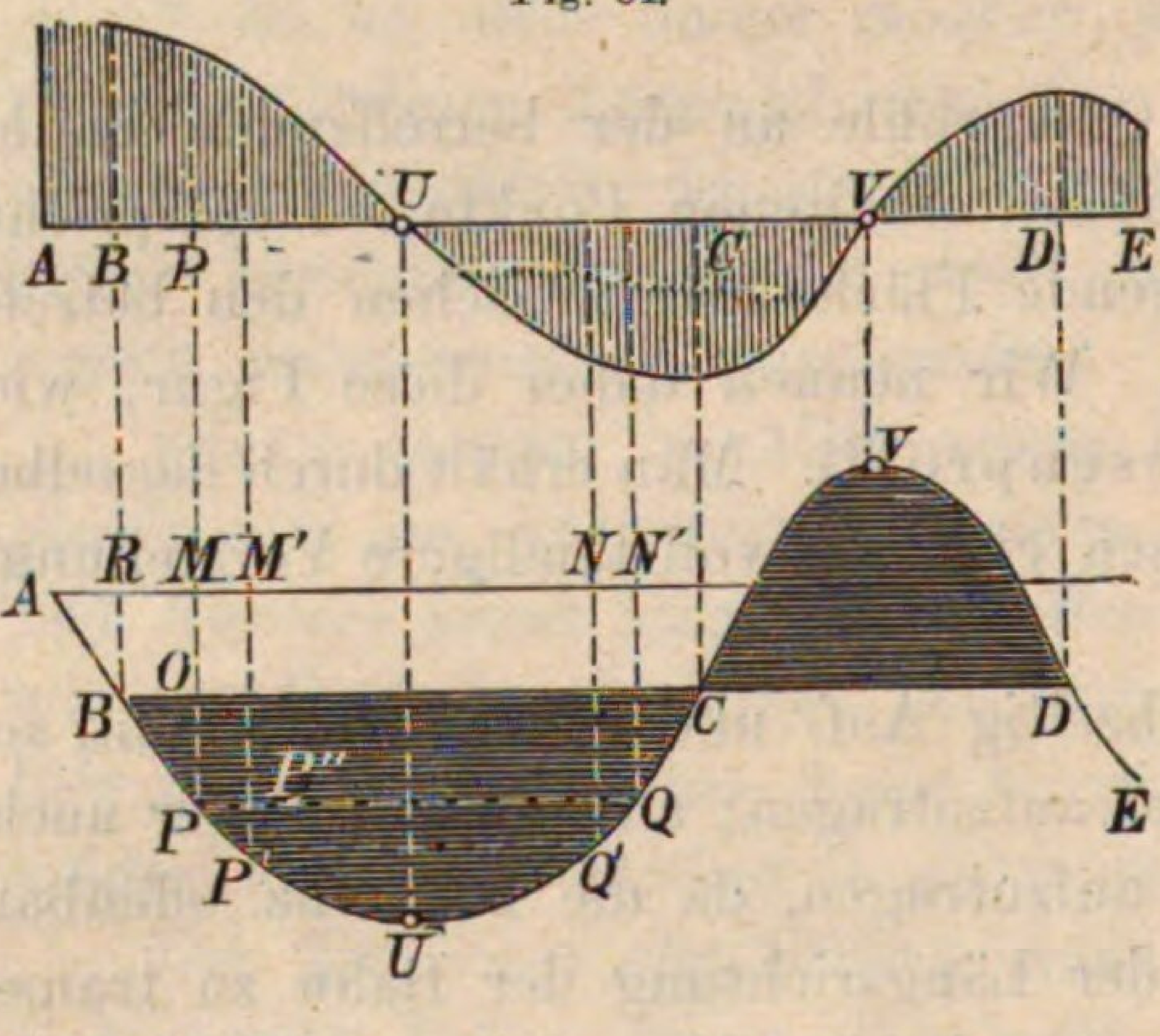
2. Die Punkte, in welchen die Tangente an das Vertheilungsprofil horizontal ist oder die sogen. Maximal- und Minimalpunkte, entsprechen den Punkten, in welchen Auftrag in Abtrag übergeht oder den sogen. Uebergangspunkten.

3. Die Differenz zweier Ordinaten ist der zwischen den entsprechenden Profilen liegenden Masse gleich. So z. B. ist $MP - RB = OP$ die zwischen B und P liegende Abtragsmasse.

4. Zwischen zwei in einer Horizontalen liegenden Punkten des Vertheilungsprofils findet vollständiger Massenausgleich statt; denn nach dem vorigen Satze ist die Masse zwischen diesen Punkten Null, d. h. die Auftragsmasse ist gleich der Abtragsmasse. So z. B. ist die zwischen B und U liegende Abtragsmasse gleich der zwi-

schen U und C liegenden Auftragsmasse. Diese Eigenschaft macht diese Konstruktion besonders zur Massenvertheilung geeignet und rechtfertigt den Namen Vertheilungsprofil.

Fig. 84.



Wenn in Fig. 84 über die Punkte A und E hinweg nicht transportirt werden kann, so wird man beispielsweise den Abtrag BU für den Auftrag CU, den Abtrag DV für den Auftrag CV verwenden können, und der Abtrag AB wird seitlich abzulagern und der Auftrag DE durch Seitenentnahme zu bilden sein.

Die Horizontale im Vertheilungsprofile, zwischen deren Enden vollständiger Ausgleich herbeigeführt wird, nennen wir eine Vertheilungslinie. Die Bestimmung der zweckmässigsten Lage dieser Linie werden wir später besprechen.

§. 84. **Konstruktion des Massen- und Vertheilungsprofils.** Die Konstruktion des Massenprofils hat nach der Berechnung der Profilflächen keine Schwierigkeit. Zur Konstruktion des Vertheilungsprofils vergrössert man die berechneten Abtragsmassen um die Auflockerung und bildet nun die Differenz zwischen Auf- und Abtrag zwischen den einzelnen Profilen, da nur die dieser Differenz entsprechende Masse in der Längsrichtung transportirt wird. Durch allmählige Addition bildet man die Massen vom gewählten Anfange bis zu den einzelnen Profilen; durch grafisches Auftragen derselben als Ordinaten erhält man das Vertheilungsprofil.

Die Rechnungsresultate stellt man zum Zwecke der Benützung beim Auftragen der Ordinaten etwa in der folgenden Weise (siehe Seite 117) tabellarisch zusammen. Die in dieser Tabelle enthaltenen Zahlen beziehen sich auf das von uns gewählte Beispiel Taf. I bis IV.

Gebirgsmassen, welche bei der Dammbildung nicht vermengt werden sollen, z. B. Erde und Felsen, müssen in der Tabelle und im Vertheilungsprofile ganz getrennt werden.

Man kann auch das Vertheilungsprofil in vollständig grafischer Weise aus dem Massenprofile ableiten. Da indess das Massenprofil die Massen nicht so genau gibt, als die Berechnung, so wird hiermit das Massenprofil meist zu ungenau.

Tabelle für das Massen- und Vertheilungs-Profil.

Bezeichnung	Profil	Fläche Auftrag	Fläche Abtrag wirkl.	Fläche Abtrag reduc.	Volumen Auftrag	Volumen Abtrag wirklicher	Volumen Abtrag reducirter	Volumen-Differenz Auftr.	Volumen-Differenz Abtrag	Summe der Volumina.	Bemerkungen
VI. Transportabtheilung. Erdtransport.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	Die Abträge sind um 3 Procent vergrössert.
	56	23,0	0,2	0,2	203,8	1,8	1,9	201,9	—	+11630,0	
	56 b	22,5	"	"	660,7	46,9	48,3	612,4	—	11831,9	
	56 c	5,2	4,6	4,7	18,4	831,0	855,9	—	837,5	12454,3	
	56 d	—	51,8	53,4	—	410,4	422,7	—	422,7	11607,8	
	57	—	41,8	43,1	—	1179,9	1215,3	—	1215,3	11185,1	
	57 a	—	46,0	47,4	—	3263,3	3361,2	—	3361,2	9969,8	
	57 b	—	60,2	62,0	—	1657,6	1707,3	—	1707,3	6608,6	
	58	—	58,4	60,2	—	2008,5	2068,8	—	2068,8	4901,3	
	58 b	—	45,2	46,6	—	672,4	692,6	—	692,6	2832,5	
	58 c	—	29,6	30,5	—	1302,9	1342,0	—	1342,0	2139,9	
	59	—	31,6	32,5	—	1117,2	1150,7	—	1150,7	+ 797,9	
	B. E.	—	25,6	26,4	160,0	442,1	455,8	—	295,8	— 352,8	
	59 d	12,3	3,0	3,1	243,0	270,0	278,1	—	35,1	648,6	
	60	3,9	15,1	15,6						683,7	
	.	.	..	.	.	.	.	.	.		

§. 85. Das Transportmoment. Die Massentheilchen eines Körpers A seien in parallelen Geraden so weit zu transportiren, dass sie einen neuen Körper B bilden. Hierbei komme ein Theilchen mit dem Volumen m von a nach b; die Länge des Weges ab sei x, und die Abstände der Punkte a, b von einer beliebigen auf der Transportrichtung senkrechten Ebene x_1, x_2. Die Transportkosten sind dem Produkte aus Volumen und Transportweite proportional; wir können also die Transportkosten, wenn C eine Erfahrungszahl bedeutet, setzen:

$$K = C\Sigma mx = C(\Sigma mx_1 + \Sigma mx_2).$$

Ist das gesammte Volumen M, die Entfernung der Schwerpunkte beider Körper $= e$ und die Abstände derselben von der Normalebene e_1, e_2, so ist bekanntlich $\Sigma mx_1 = Me_1$, $\Sigma mx_2 = Me_2$, also $\Sigma mx = M(e_1 + e_2) = Me$, mithin

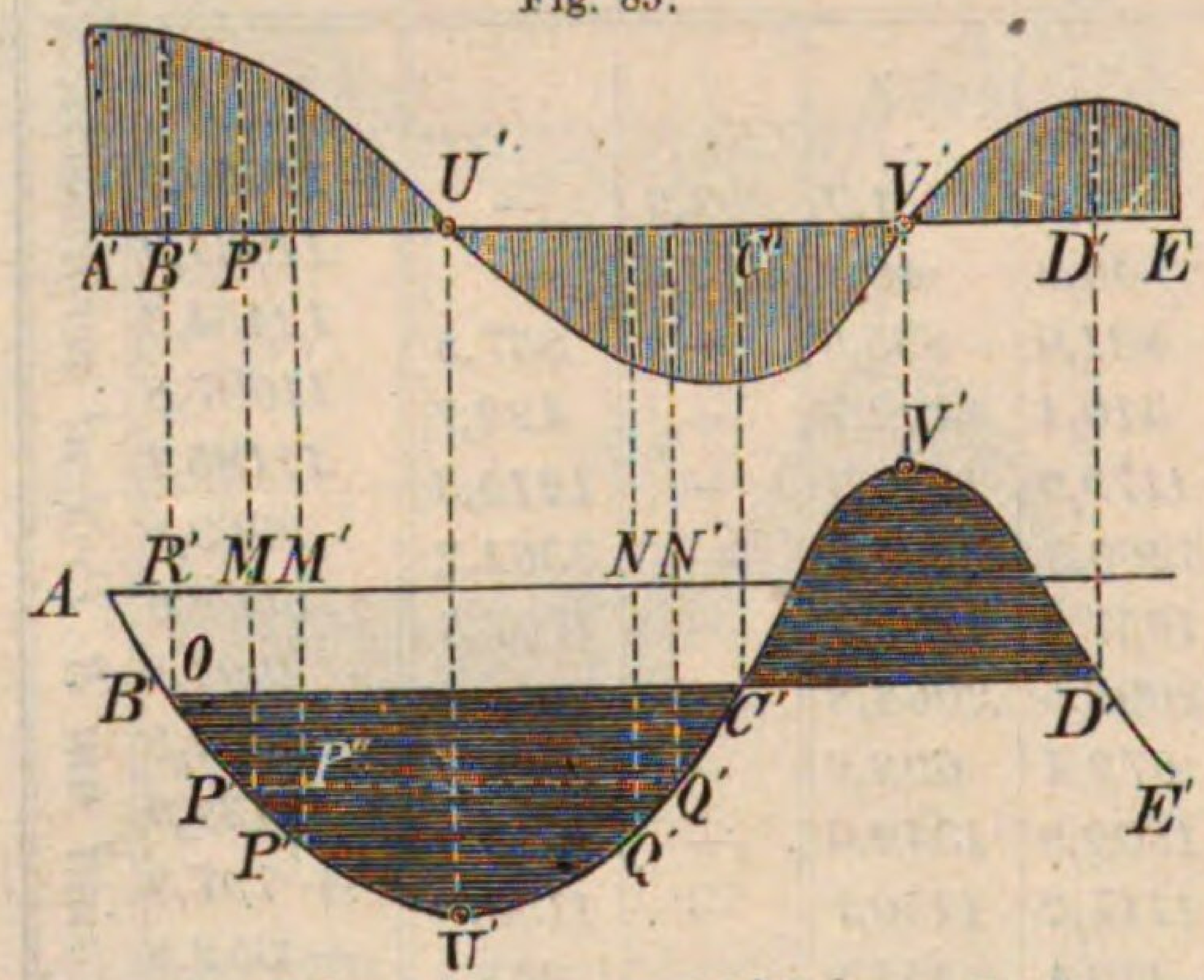
$$1. \quad \boldsymbol{K = AMe},$$

d. h. die Transportkosten sind proportional dem Produkte aus der zu transportirenden Masse und der Entfernung der Schwerpunkte des Auf- und Abtrages.

Wir wollen dieses Produkt (entsprechend dem statischen Momente, Trägheitsmomente, u. s. w.) das Transportmoment nennen.

§. 86. Bestimmung des Transportmomentes für den Längentransport. Sehr häufig bestimmt man das Transportmoment dadurch, dass man die Schwerpunkte des Auf- und Abtrags im Längenprofile nach dem Augenmaasse bestimmt, und alsdann ihre Entfernung mit der Masse multiplicirt. Für oberflächliche Kostenanschläge wird dies genügen.

Fig. 85.



Genauer liessen sich die Schwerpunkte nach dem Augenmaasse im Massenprofile bestimmen, da sie hier mit den Schwerpunkten der die Massen darstellenden Flächen zusammenfallen. Am einfachsten aber erhält man das Transportmoment genau durch das Vertheilungsprofil in folgender Weise.

Die zwischen den unendlich nahen Punkten M, M' (Fig. 85) liegende Masse ist $= M'P' - MP = P'P''$. Ziehen wir durch P, P' die Horizontalen PQ, $P'Q'$, durch Q, Q', die Ordinaten NQ, $N'Q'$, so gleichen sich die zwischen M und M', N und N' liegenden Massen aus, so dass PQ als Transportweite der zwischen M und M' liegenden Masse angenommen werden kann. Das Transportmoment des Massenelementes ist $= P'P'' \,.\, PQ =$ Fläche $PQQ'P'$. Das gesammte Transportmoment ist daher, wenn BC die Vertheilungslinie ist, gleich der Fläche BUC, d. h.

Das Transportmoment ist gleich der vom Vertheilungsprofile durch die Vertheilungslinie abgeschnittenen Fläche.

Beim Nachweise dieser Regel wurde allerdings angenommen, dass das an dem einen Ende P einer durch das Vertheilungsprofil gezogenen Horizontalen PQ liegende Massentheilchen nach dem anderen Ende Q transportirt werde. Es ist aber eine unendliche Anzahl anderer Massenvertheilungen denkbar, und in Wirklichkeit wird die angenommene Vertheilung auch nicht genau zutreffen. Nach dem vorigen §. ist indess die Vertheilungsweise auf die Kosten ganz ohne Einfluss, so dass die eben gefundene Regel eine ganz allgemeine Gültigkeit hat.

Den Flächeninhalt bestimmt man entweder durch Rechnung in der bekannten Weise, oder, was meist das räthlichste ist, mit Hülfe des Planimeters.

Dividirt man das Transportmoment durch die Transportmasse, so erhält man den Abstand der Schwerpunkte des Auf- und Abtrages oder die sogen. mittlere Transportweite.

Beispiel. — In unserem Beispiele (Taf. IV) ergibt sich z. B. für die Transportsektion 3 durch Flächenberechnung als Transportmoment *3902500*; die Transportmasse ist *12454* ^{km}, also die mittlere Transportweite $\frac{3902500}{12454} = 313{,}4^{m}$.

§. 87. Einfluss der Steigung. Ist eine Steigung vorhanden, so ist zur Bestimmung der Transportkosten statt der wirklichen Transportweite jedes einzelnen Elementes die nach dem vorigen Kapitel reducirte Transportweite desselben einzuführen. Die Summe aller dieser Produkte nennen wir das reducirte Transportmoment; die Division desselben durch die Masse gibt die mittlere reducirte Transportweite.

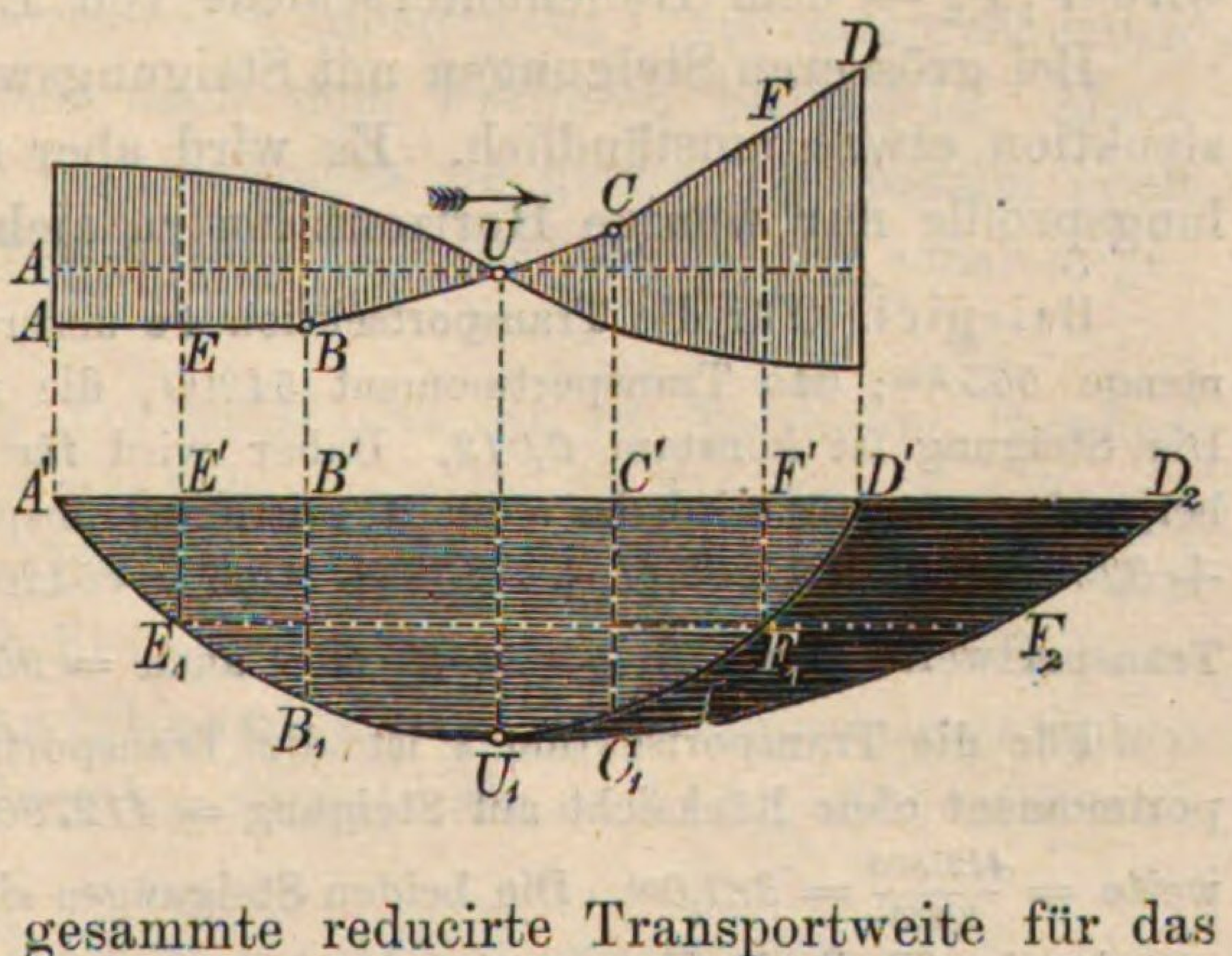
Wir setzen in diesem §. voraus, dass sich die Transportgefässe auf der projektirten Planie der Eisenbahn bewegen, dass also die Bahn für alle Massentheilchen dieselbe sei. Die Höhen, auf welche das Material beim Gewinnen in den Einschnitten und nach dem Auskippen im Auftrage herabfällt, kommt dabei nicht in Frage, weil dieser Transport keine Kosten verursacht.

1. Konstante Steigung. Ist s die Steigung der Bahn, so ist das Transportmoment für das Massenelement m, dessen wirkliche Transportweite x ist, $= mx\,(1 + As + Bs^2)$, also das gesammte Transportmoment $\Sigma mx\,(1 + As + Bs) = Me\,(1 + As + Bs^2)$. Man erhält also das reducirte Transportmoment, wenn man das Transportmoment ohne Rücksicht auf die Steigung mit $1 + As + Bs^2$ multiplicirt, oder die mittlere reducirte Transportweite, wenn man die ohne Rücksicht auf die Steigung bestimmte mittlere Transportweite mit dem Reduktionskoefficienten $1 + As + Bs^2$ multiplicirt.

2. Veränderliche Steigung.

a. Die Steigung sei sehr klein, so dass man die Reduktion nach der Formel $l_0 = l + Ah$ (siehe §. 76) vornehmen kann. Der Weg EF eines Massenelementes wird durch die Vertikalen, welche durch die Brechpunkte B, C der Bahn gehen, in mehrere Theile EB, BC, CF getheilt. Jede dieser Strecken ist mit dem betreffenden Reduktionskoefficienten, d. i. mit $1 + As_1$, $1 + As_2$, $1 + As_3$, wo s_1, s_2, s_3 die einzelnen Steigungen bedeuten, zu multipliciren; die Summe der Produkte gibt alsdann die gesammte reducirte Transportweite für das Massenelement m. Summirt man die Transportmomente aller einzelnen Elemente, so besteht die Summe aus den Flächen $A'B'B_1$, $B'C'C_1B_1$

Fig. 86.



und $C'D'C_1$, multiplicirt mit den betreffenden Reduktionskoefficienten; das gesammte Transportmoment T ist daher

$$T = \text{Fläche } A'B'B_1 (1 + As_1) + \text{Fläche } B'C'C_1B_1 (1 + As_2) + \text{Fläche } C'D'C_1 (1 + As_3)$$

oder: Das Transportmoment erhält man, wenn man die Flächen, in welche das Vertheilungsprofil durch die Vertikalen, welche durch die Brechpunkte der Bahn gehen, getheilt wird, mit den entsprechenden Reduktionskoefficienten multiplicirt und die Produkte addirt.

b. Die Steigung sei beliebig. Es sei $EBCF$ (Fig. 86) der wirkliche Weg eines im Profile E liegenden Massentheilchens, E_1F_1 der entsprechende Weg im Vertheilungsprofile. Diesen Weg wird man nach §. 77 mit Berücksichtigung der Steigungen der Strecken EB, BC, CF reduciren und E_1F_1 nach einer Seite um so viel verlängern, dass E_1F_2 gleich der reducirten Transportweite, also $E_1F_2 = E_1F_1 [1 + As + Bs^2 + C\Sigma\sigma^2]$ ist. Zieht man durch das Vertheilungsprofil mehrere solcher Horizontalen E_1F_1 etc., verfährt mit allen in derselben Weise und verbindet die so erhaltenen Punkte durch eine Kurve $U_1C_1F_2D_2$, so entspricht die Fläche $D'F_1U_1F_2D_2$ der Vergrösserung oder Verminderung des Transportmomentes. Das reducirte Transportmoment entspricht also der Fläche $A'U_1D_2$.

Ist die Steigung nur klein, so ist $E_1F_2 = E_1F_1 (1 \pm As) = E_1F_1 \pm Ah$, wenn h den Höhenunterschied der Punkte E und F bezeichnet. Am bequemsten wird die Konstruktion, wenn man im Massenprofile die Ordinaten für die Bahn A mal grösser wählt als die Längen; denn alsdann wird F_1F_2 = dem Höhenunterschiede von E und F im Massenprofile.

Bei grösseren Steigungen mit Steigungswechsel wird indess die Konstruktion etwas umständlich. Es wird aber meist genügen, im Vertheilungsprofile nur wenige Horizontalen zu ziehen.

Beispiel. Für die Transportsektion 4c unseres Beispieles ist die Transportmenge 565^{km}; das Transportmoment 54200, die mittlere Transportweite $95{,}9^m$. Die Steigung ist konstant $0{,}012$. Daher wird für Schubkarrentransport und, da bergauf transportirt wird, das reducirte mittlere Transportmoment $54200\,(1 + 13 \,.\, 0{,}012 + 325 \,.\, 0{,}012) = 54200\,(1 + 0{,}156 + 0{,}047) = 54200 \,.\, 1{,}203 = 65200$, die mittlere Transportweite also $\frac{65200}{565} = 115{,}4$, oder auch $= 95{,}9 \,.\, 1{,}203 = 115{,}4^m$.

Für die Transportsektion 2 ist die Transportmenge $= 10835^{km}$, das Transportmoment ohne Rücksicht auf Steigung $= 4127800$, also die mittlere Transportweite $= \frac{4127800}{10835} = 381{,}0^m$. Die beiden Steigungen sind $0{,}008$ und $0{,}011$ und die entsprechenden Theile des Transportmomentes 3385300 und 742500. Da der Unterschied in den Steigungen nur $= 0{,}003$ ist, so ist nach §. 80. nicht nöthig, das letzte Glied $C\Sigma l\sigma^2$ zu berücksichtigen; somit wird das reducirte Transportmoment für

Handkippkarren-Transport $= 3385300\ (1 - 20\ .\ 0{,}008 + 350\ .\ 0{,}008) + 742500$ $(1 - 20\ .\ 0{,}011 + 350\ .\ 0{,}011^2) = 3385300\ .\ 0{,}862 + 742500\ .\ 0{,}822 = 2918100$ $+ 610300 = 3528400$, also die reducirte mittlere Transportweite $\frac{3528400}{10835} = 325{,}7^m$.

§. 88. Einfluss der Steigung bei variabeler Bahn.

a. Wir setzen zunächst voraus, dass jedes Massenelement auf die ganze Länge seines Weges transportirt werden müsse, und nicht ohne Kraftanstrengung der Arbeiter, also ohne Kostenaufwand, herabfalle. Für diesen Fall wird eine genaue Bestimmung ohne weitläufige Rechnung nur bei Annahme einer schwachen Steigung möglich, wenn wir also $l_0 = l + Ah$ setzen können. Genau wie im §. 87. lässt sich alsdann nachweisen, dass sich die mittlere reducirte Transportweite l_0 ausdrücken lässt durch

$$l_0 = l + Ah,$$

wenn l den Horizontalabstand, h den Vertikalabstand der Schwerpunkte des Auf- und Abtrags bezeichnet. Man erhält also die reducirte Transportweite, wenn man zur horizontalen Transportweite ein bestimmtes Vielfaches des Vertikalabstandes der Schwerpunkte des Auf- und Abtrages hinzufügt.

Wir nennen $\frac{h}{l}$ die mittlere Steigung; setzen wir dieselbe $= s$, so wird $l_0 = l\,(1 + As)$; bei grösseren Steigungen wird man jedenfalls genauer rechnen, wenn man

$$l_0 = l\,(1 + As + Bs^2)$$

setzt, obwohl sich diese Formel theoretisch nicht in exakter Weise rechtfertigen lässt.

b. Es kommt vor, dass man verschiedene Theile des Abtrags auf verschiedenen Bahnen transportirt, z. B. beim Etagentransporte. Kennt man die einzelnen zu transportirenden Mengen und die entsprechenden Wege, so lassen sich dieselben nach dem Früheren behandeln. Meist aber ist bei Anfertigung des Voranschlages die genaue Disposition noch nicht getroffen, so dass man hier meist eine mittlere Steigung schätzungsweise einführen muss.

c. Bei Anfertigung von Voranschlägen ist es überhaupt in allen Fällen nicht ohne grosse Mühe möglich, die wirkliche Steigung der Transportbahnen zu bestimmen. Es wird indess stets genügen, die Steigung der Planie und bei Steigungswechsel eine mittlere Steigung der Planie einzuführen und die Reduktion nach der im §. 77. angegebenen Regel $l_0 = l + Dh = l\,(1 + Ds)$ mit variabelem D auszuführen.

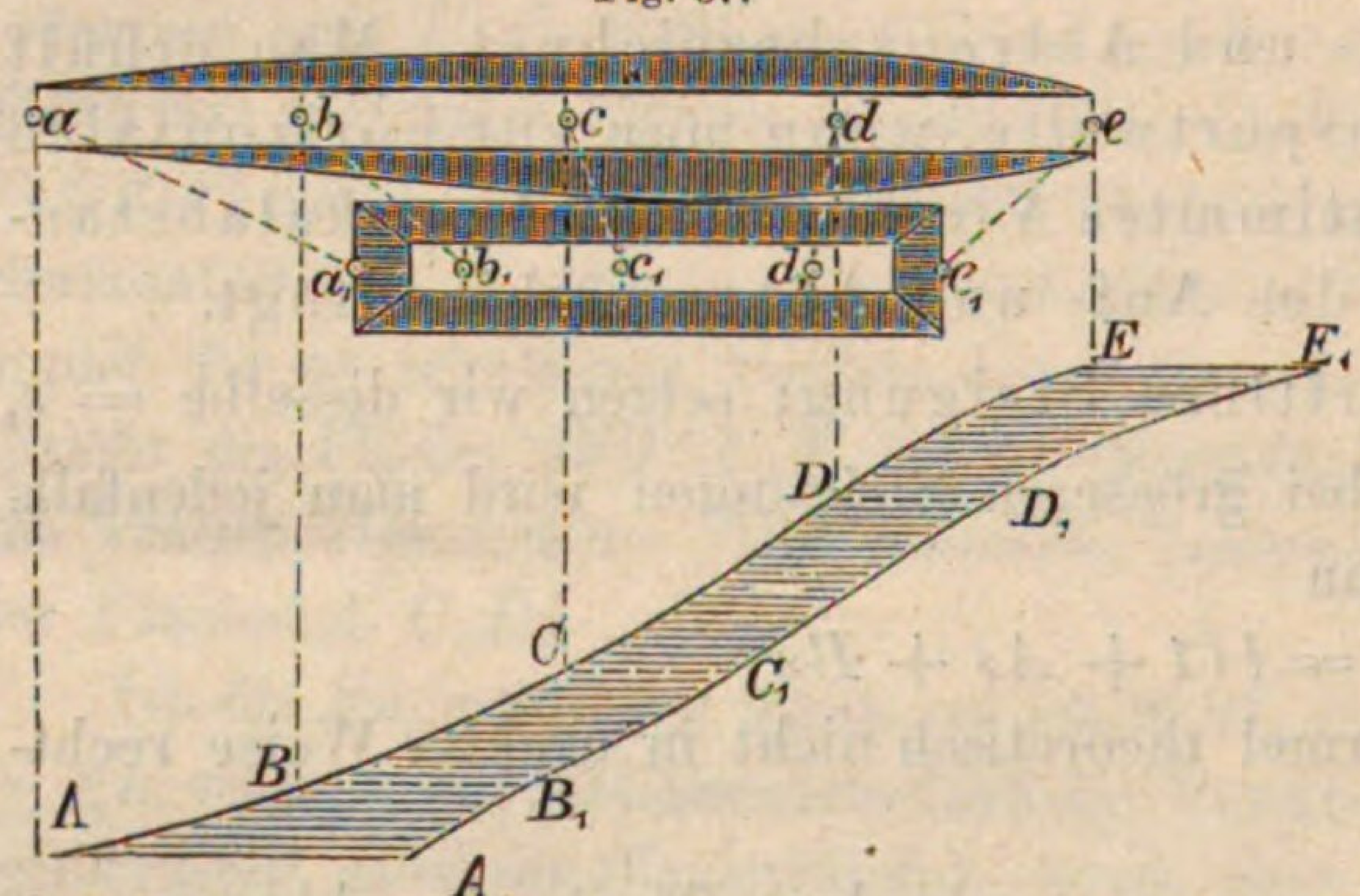
Man erhält hierbei für l_0, falls Etagenbau angewendet wird, etwas zu grosse Werthe; in Folge von Umwegen, welche beim Baue vorkommen, die man aber nicht bei der Berechnung einführt, tritt indess wieder

ein theilweiser Ausgleich ein. Beim Bergtransporte ist der Fehler etwas grösser, als beim Thaltransporte; jedoch sucht man Bergtransport möglichst zu vermeiden. Die genannte Regel ist ferner um so mehr anwendbar, als die Bestimmung des Koefficienten D noch zu unsicher ist.

Vielfach ist es üblich, beim Bergtransporte den Horizontalabstand der Schwerpunkte um das Afache des Vertikalabstandes zu vermehren und beim Thaltransporte eine Reduktion gar nicht vorzunehmen. Jedenfalls gibt die von uns gegebene Regel wesentlich genauere Resultate.

§. 89. Grafische Darstellung des Seitentransportes. Die reducirte Transportweite trägt man für jedes Element von dem betreffenden Punkte des Vertheilungsprofils als horizontale Gerade auf. Die Enden dieser Geraden liegen alsdann auf einer Kurve, welche mit dem Vertheilungsprofile eine Fläche AA_1E_1E (Fig. 87) einschliesst, welche das Transportmoment darstellt, was sich in der in §. 86 angewendeten Weise leicht beweisen lässt. Es stimmt diese Darstellungsweise auch mit der Darstellung des Längentransports überein, wo ebenfalls die Wege der einzelnen Elemente durch horizontale Gerade dargestellt werden. In dieser Weise lässt sich offenbar jeder Transport, in welcher Richtung er auch stattfinden möge, darstellen.

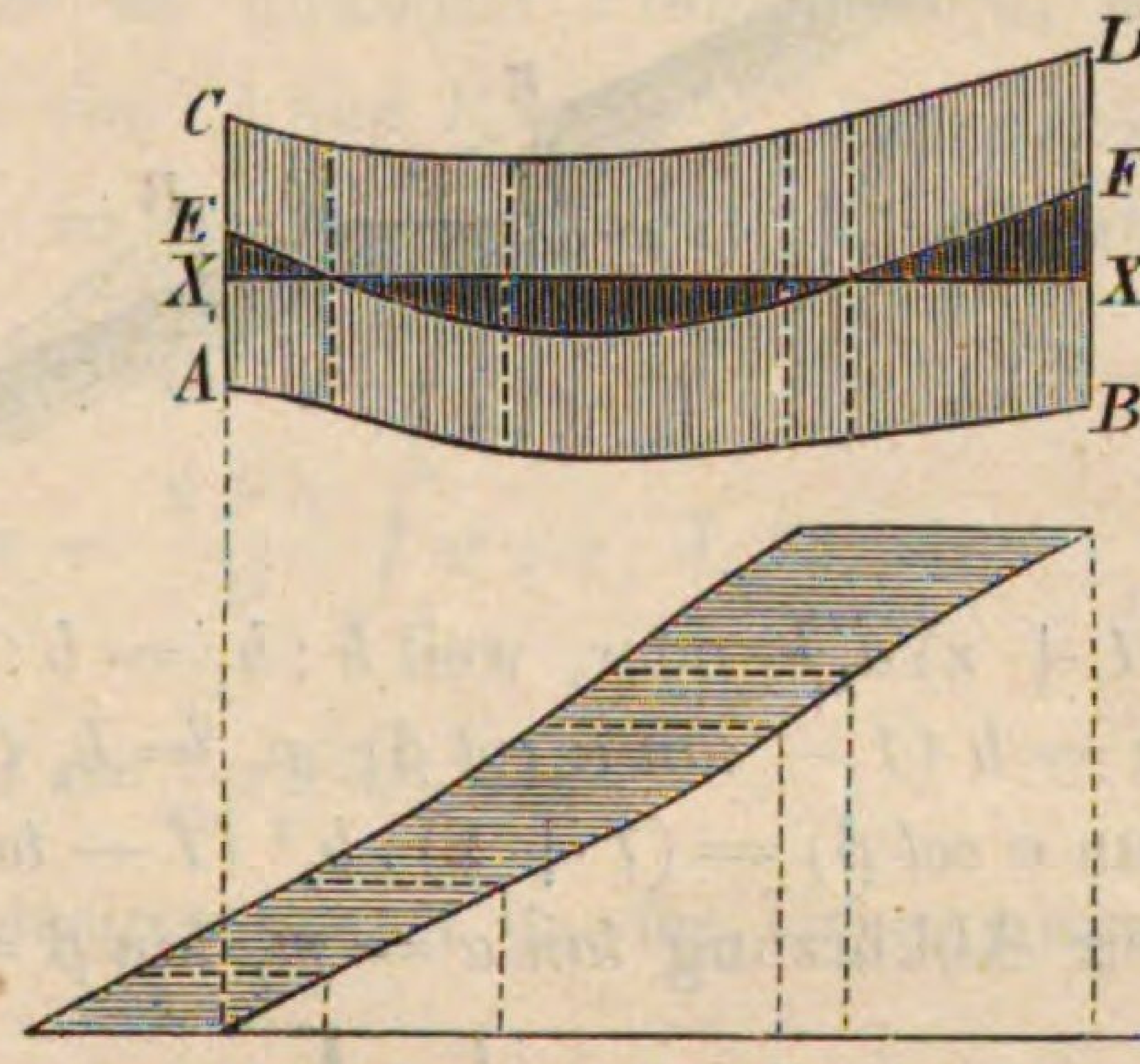
Fig. 87.



§. 90. Quertransport bei Anschnitten. Bei Anschnitten kann meist Handwurf oder Schubkarrentransport auf nahezu horizontaler Bahn Anwendung finden, so dass nur der Horizontalabstand der Schwerpunkte des Auf- und Abtrags in Frage kommt. Bezeichnen wir den Flächeninhalt des durch Quertransport zu bildenden Auftrags ABC (Fig. 90) oder ADE (Fig. 89) für zwei auf einander folgende Profile mit F_1, F_2, den Horizontalabstand der Schwerpunkte mit s_1, s_2, den Abstand beider Profile mit e, so ist das Transportmoment für die zwischen beiden Profilen liegende Masse nahezu $\frac{1}{2}(F_1 s_1 + F_2 s_2)\,e$. Werden die so berechneten Transportmomente aller einzelnen Körper addirt und die Summe durch das Gesammtvolumen dividirt, so ergibt sich die mittlere Transportweite für das Gesammtvolumen.

Weniger genau wird das Resultat, wenn man $\frac{1}{2} V (s_1 + s_2)$ für $\frac{1}{2} (F_1 s_1 + F_2 s_2) e$ setzt, wobei V das Volumen des zwischen F_1 und F_2 liegenden Auftragskörpers bedeutet; jedoch ist diese Berechnung etwas einfacher, und genügt auch, wenn die Profile nicht viel von einander abweichen.

Fig. 88.



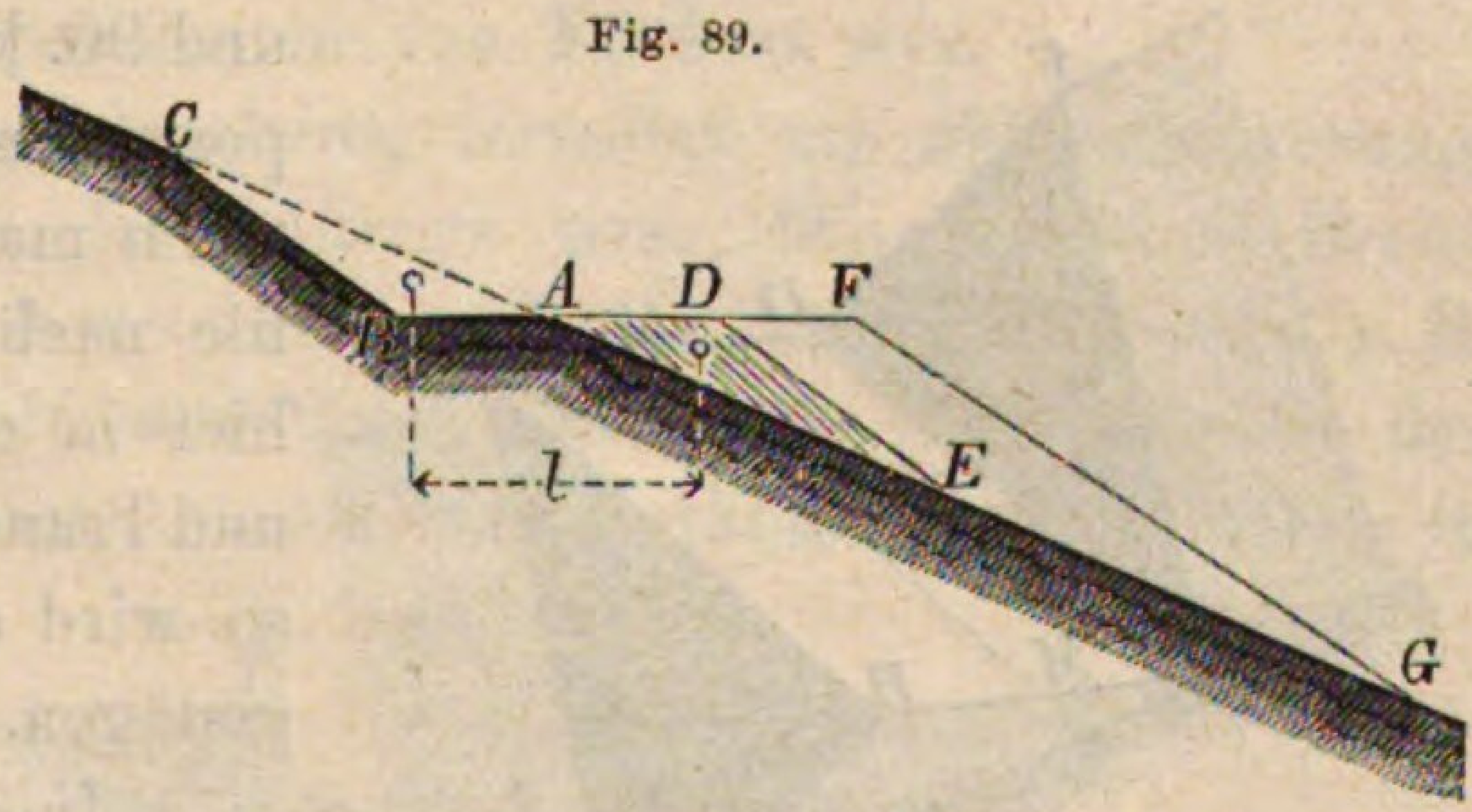
Die nach dem vorigen §. durchzuführende grafische Darstellung (Fig. 88) kommt auf dasselbe hinaus. Im Massenprofile Fig. 88 sind die Ordinaten der Linien AB und CD in Beziehung auf die Axe XX die Auf- und Abtragsprofile, die Ordinaten der Linie EF die Differenzen dieser Profile, so dass die licht schraffirten Flächen die Massen für den Quertransport, die dunkel schraffirten Flächen die Massen für den Längentransport darstellen. In der Anwendung für die Praxis kann indess die grafische Darstellung des Quertransportes unterbleiben, da kein besonderer Vortheil daraus erwächst.

Die Entfernung der Schwerpunkte ist im Allgemeinen durch eine geometrische Konstruktion der Schwerpunkte oder durch eine Abschätzung derselben zu bestimmen. Für dreieckige Anschnittsprofile lassen sich indessen einfache Regeln entwickeln.

Setzen wir für irgend ein Profil die horizontale Entfernung der Schwerpunkte $= l$, ferner in Fig. 89 und 90 $AB = a$, $AD = a_1$ und die Horizontalprojektionen von AC und AG bezüglich $= b$ und $= b_1$, so ergibt sich leicht

$$2. \quad \boldsymbol{l = \frac{1}{3} (a + b + a_1 + b_1)}.$$

Fig. 89.



Für den Fall, dass der Auftrag grösser ist, als der Abtrag (Fig. 89), wird, wenn die relative Auflockerung $= \varkappa$ ist, $\Delta ADE = (1 + \varkappa) \cdot \Delta ABC$ und, wenn wir DE parallel zu BC annehmen, $a^2 : a_1^2 = 1 : 1 + \varkappa$, $b^2 : b_1^2 = 1 : 1 + \varkappa$; hieraus folgt $a_1 = a\sqrt{1 + \varkappa}$, $b_1 = b\sqrt{1 + \varkappa}$, also

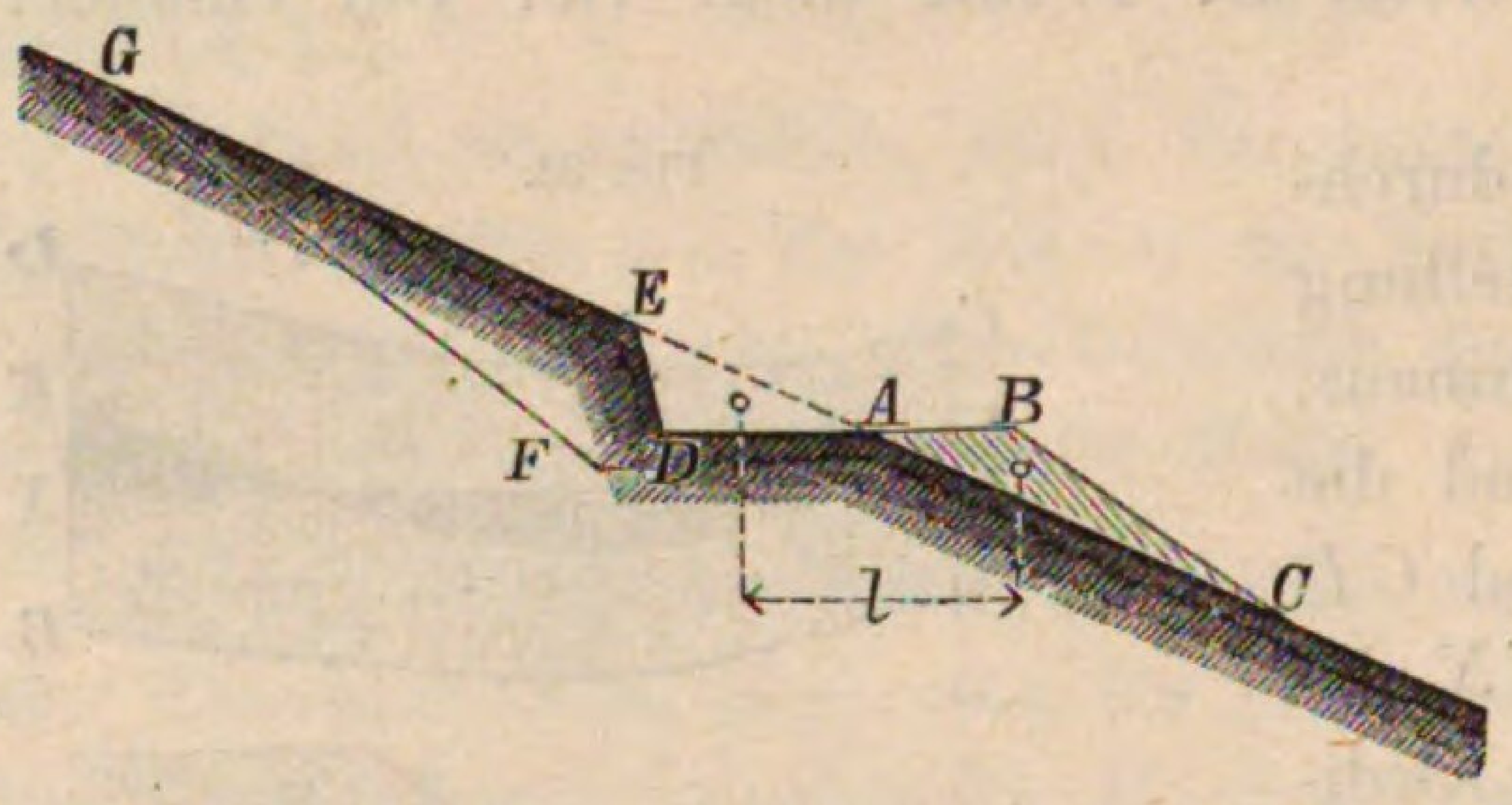
$$3. \quad l = \frac{1 + \sqrt{1 + \varkappa}}{3} (a + b).$$

Nehmen wir $\varkappa = 0{,}05$ an, so wird

4. $\boldsymbol{l = 0{,}675\,(a + b)}$.

Ferner wird für den Fall, dass der Abtrag grösser ist, als der Auftrag (Fig. 90), $\varDelta\, ABC = (1 + \varkappa)\,.\,\varDelta\, ADE$. Bezeichnen wir den Neigungswinkel des Terrains mit α, den der Böschungen BC, DE mit β, β_1, die Höhen der beiden Dreiecke mit h, h_1, so wird $a h = (1 + \varkappa)\, a_1 h_1$ oder, weil $h : h_1 = b : b_1$ ist, $a b = (1 + \varkappa)\, a_1\, b_1$. Da ferner $a = b\,(1 - \tan\alpha \cot\beta)$, $a_1 = b_1\,(1 - \tan\alpha \cot\beta_1)$ ist, so wird $b^2\,(1 - \tan\alpha\cot\beta) = (1 + \varkappa)\,.\,b_1^{\,2}\,(1 - \tan\alpha\cot\beta_1)$. Hieraus folgt, wenn wir zur Abkürzung $\tan\alpha = m$, $\tan\beta = n$, $\tan\beta_1 = n_1$ setzen,

Fig. 90.



$$5.\quad l = \frac{1}{3}\, b \left[2 - m n + \frac{2 - m n_1}{\sqrt{1 + \varkappa}} \sqrt{\frac{1 - m n}{1 - m n_1}}\right].$$

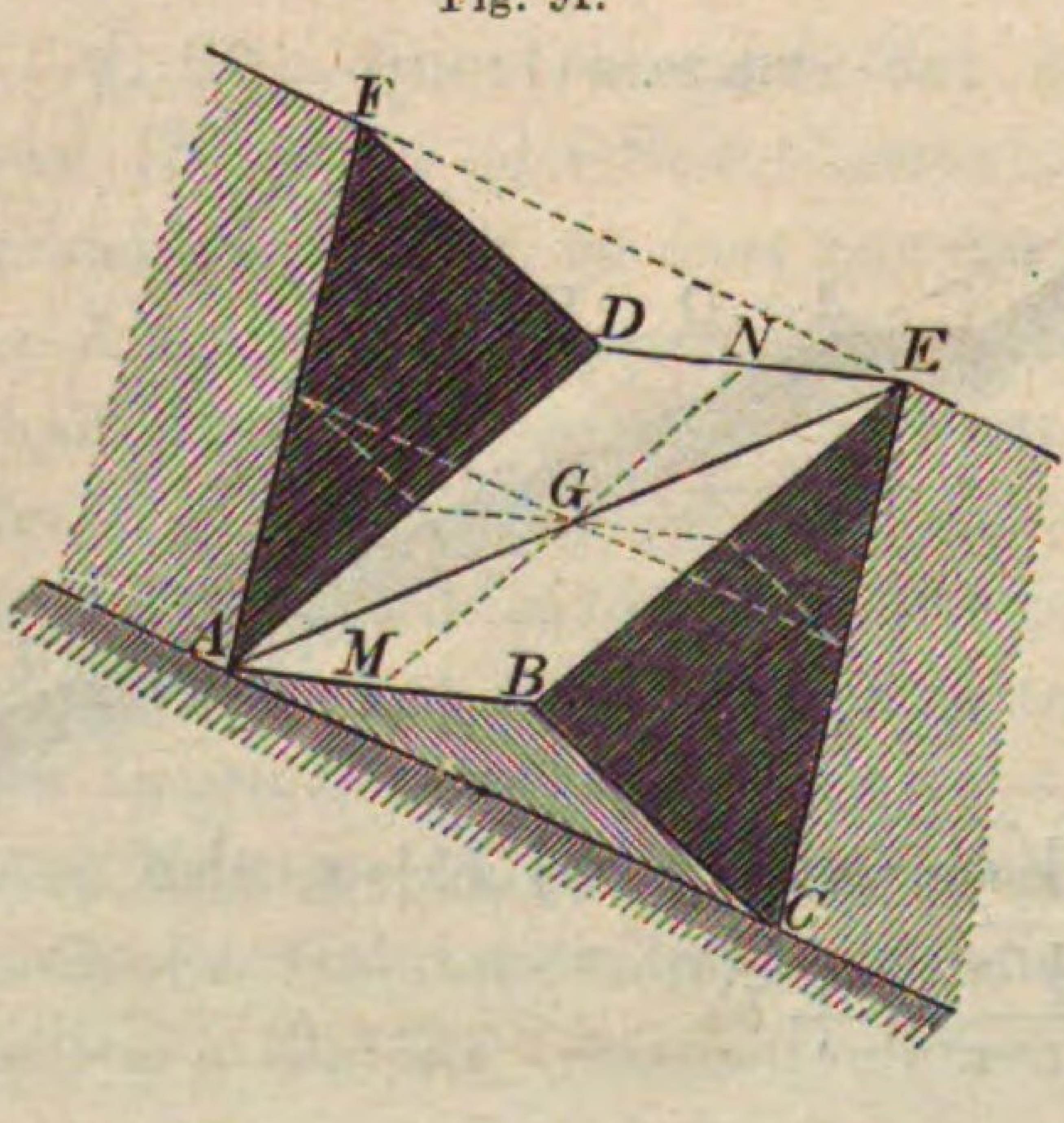
Berechnet man hiernach l für $n = 1{,}5$, $n_1 = 0{,}2$, $\varkappa = 0{,}05$ und für verschiedene m, so ergibt sich, dass sich l sehr nahe durch folgende einfache Gleichung ausdrücken lässt:

6. $\boldsymbol{l = 0{,}75\, a + 0{,}57\, b}$.

Nach dieser Formel wird z. B. für $m = 0{,}1$, $0{,}3$, $0{,}5$, weil für diese Werthe $a = 0{,}85\,b$, $0{,}55\,b$, $0{,}25\,b$ ist, bezüglich $l = 1{,}21\,b$, $0{,}98\,b$, $0{,}76\,b$, während nach der genaueren Formel $l = 1{,}20\,b$, $0{,}99\,b$, $0{,}74\,b$ wird.

§. 91. Seitentransport an Uebergängen. An jedem Uebergange zwischen Auf- und Abtrag entstehen Anschnittsprofile, also auch Seitentransport, falls die Durchschnittslinie der Planie mit dem Terrain nicht auf der Axe senkrecht steht. Nach §. 89. und 90. kann das entsprechende Transportmoment leicht bestimmt werden, wenn man an dieser Stelle einige Profile nach §. 35. konstruirt. Da indess hier in der Regel nur kleine Massen und Transportweiten in Frage kommen, so wird ein Näherungsausdruck meist genügen.

Fig. 91.



In Fig. 91 seien ABC und DEF die Endprofile einer solchen Uebergangsstrecke. Nehmen wir das Terrain als eben, die Böschungs-

winkel im Auf- und Abtrage als gleich an und vernachlässigen wir die Gräben, so sind beide Profile kongruente Dreiecke; jedes derselben habe die Fläche F. Alsdann ist der Flächeninhalt des Abtragsprofils im Abstande x von A und des Auftragsprofiles im Abstande x von E $= F\left(\frac{x}{l}\right)^2$, wenn l die Länge der Uebergangsstrecke bezeichnet. Bezeichnen wir ferner die Transportweite im mittleren Profile mit a, so ist die Transportweite im Abstande x von A und $E = a\,\frac{x}{l}$. Sehen wir nun von der Auflockerung ganz ab, so ist das gesammte Transportmoment für den Seitentransport

$$T = 2 . \int_0^{\frac{1}{2}l} F\left(\frac{x}{l}\right)^2 \cdot a\,\frac{x}{l} \cdot dx = \frac{2Fa}{l^3}\int_0^{\frac{1}{2}l} x^3\,dx, \text{ d. i.}$$

$$7. \quad \boldsymbol{T = \frac{1}{32}\,Fal = \frac{3}{64}\,Va,}$$

wenn V das gesammte Auf- und Abtragsvolumen in der Uebergangsstrecke, d. i. $\frac{2}{3}\,Fl$, bezeichnet.

Die seitlich zu transportirende Masse v ist $= 2 \cdot \frac{1}{3}\,\frac{F}{4} \cdot \frac{l}{2} = \frac{1}{12}\,Fl$ $= \frac{1}{8}\,V$; mithin ist die mittlere Transportweite $\frac{T}{v} = \frac{3}{8}\,a$.

Der Werth von a ergibt sich leicht zu

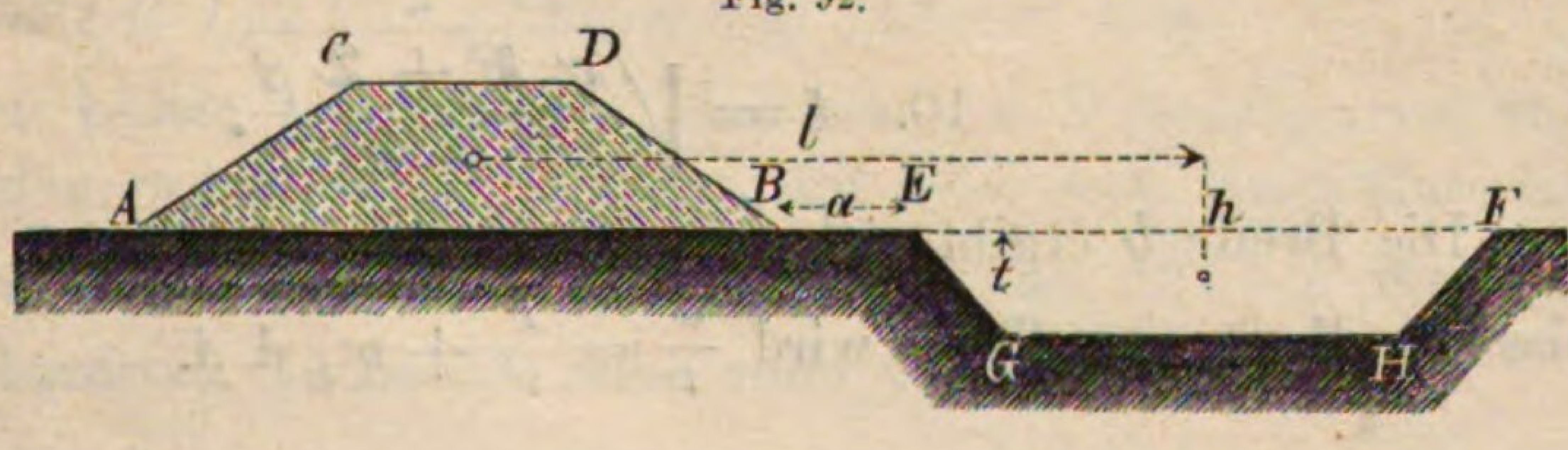
$$8. \quad \boldsymbol{a = b \cdot \frac{2 - mn}{3\,(1 - mn)},}$$

wenn b die Breite $AB = DE$, m das Böschungsverhältniss der beiden Böschungen, n die Tangente des Neigungswinkels der Terrainlinien AC und EF bezeichnet. Es kann aber a auch leicht durch Konstruktion bestimmt werden.

§. 92. Kontinuirliche Seitenentnahme. Bei Seitenentnahmen ist das Material zu heben; hier wird daher auch der Vertikalabstand h der Schwerpunkte auf die Transportkosten von Einfluss sein.

Das Querprofil des Materialgrabens, vermehrt um die Auflockerung, muss gleich dem Querprofile des Auftrags sein. Die Höhe und Breite können aber ausserdem durch verschiedene Umstände bedingt sein, z. B. die Höhe durch den Grundwasserstand, durch die Schwierigkeit der Materialgewinnung in der Tiefe, durch das Vorkommen von Felsen in der Tiefe; die Breite durch Begrenzung durch Wege, Bäche etc. Ist kein Umstand

Fig. 92.



von Einfluss, so wird man die Dimensionen am besten so wählen, dass die Kosten ein Minimum werden. In der hierzu nöthigen Untersuchung bezeichnen wir (Fig. 92) den Flächeninhalt des Damm- und Materialgrabenprofils mit F_1, F, so dass $F(1+\varkappa) = F_1$ ist; die obere Breite und Tiefe des Materialgrabens mit b, t und das Böschungsverhältniss mit m.

1. Horizontales Terrain. In diesem Falle ist

$$F = (b - mt)t,$$

oder, wenn man t annimmt,

$$9. \quad \boldsymbol{b = \frac{F}{t} + mt.}$$

Wir unterscheiden nun folgende Fälle. a) Der Damm ist nur niedrig, so dass wir $l_0 = l + Ah$ setzen können. Wir bezeichnen die Transportkosten pro Volumeneinheit und Längeneinheit mit α, die Kosten des Grund und Bodens pro Flächeneinheit mit β. Alsdann sind die Kosten K für den Transport und die Grundeinlösung für den Materialgraben pro Längeneinheit des Dammes:

$$K = \alpha F(l + Ah) + \beta b.$$

Bezeichnen wir die Tiefe des Schwerpunktes des Materialgrabens unter dem Terrain mit y, so ist $Fy = \frac{1}{2} bt \cdot \frac{1}{3} t + \frac{1}{2}(b - 2mt)t \cdot \frac{2}{3} t$ $= \frac{1}{6} t^2 (3b - 4mt)$, oder da $F = (b - mt)t$ ist,

$$Fy = \frac{1}{6} t(3F - mt^2).$$

Die Differenziation nach y und t gibt, da F konstant ist, $F\,dy = \frac{1}{2}(F - mt^2)\,dt$. Nun aber ist $F = bt - mt^2$, also $o = b\,dt + t\,db - 2mt\,dt$, also $t^2\,dt = -(b - 2mt)\,t\,dt = -(F - mt^2)\,db$. Sonach wird

$$F\,dy = -\frac{1}{2} t^2\,db.$$

Aendern sich nun die Dimensionen des Materialgrabens um unendlich wenig, so ändert sich offenbar l um $\frac{1}{2}\,db$, h um dy und b um db; demnach ist

$$dK = \alpha F(\tfrac{1}{2}\,db + A\,dy) + \beta\,db = \tfrac{1}{2}(\alpha F + 2\beta)\,db + \alpha AF\,dy.$$

Setzt man für $F\,dy$ den eben gefundenen Ausdruck, so wird

$$dK = \tfrac{1}{2}[\alpha F + 2\beta - \alpha At^2]\,db.$$

Sonach wird K zum Minimum der $\frac{dK}{dt} = o$ für

$$10. \quad \boldsymbol{t = \sqrt{\frac{\alpha F + 2\beta}{\alpha A}}.}$$

Die Breite b ergibt sich nun durch die Gleichung 9. Das Verhältniss der Breite zur Tiefe wird $\frac{b}{t} = \frac{F}{t^2} + m$, d. i.

$$11. \quad \frac{b}{t} = \frac{\alpha A F}{\alpha F + 2\beta} + m.$$

Kostet der Grund und Boden nichts oder ist $\beta = o$, so wird sehr einfach

$$12. \quad t = \sqrt{\frac{F}{A}}, \quad \frac{b}{t} = A + m.$$

Nimmt man bei kleinen Neigungen $A = 13$ an und setzt ausserdem $m = 1{,}25$, so würde hiernach $t = 0{,}277\sqrt{F}$, $b = 14{,}25\, t$.

In vorstehender Untersuchung wurde $l_0 = l + Ah$ gesetzt, so dass die erhaltenen Formeln nur für sehr niedrige Dämme gelten können. Setzt man allgemeiner $l_0 = l + Ah + B\frac{h^2}{l}$, so ergibt sich in ganz gleicher Weise

$$13. \quad t = \sqrt{\frac{\alpha F(1 + Bs^2) + 2\beta}{\alpha(A + 2Bs)}}$$

worin s die Neigung $\frac{h}{l}$ bedeutet. Direkt lässt sich diese Formel nicht anwenden, weil s durch die zu bestimmende Tiefe des Materialgrabens bedingt ist; man muss also zur Anwendung dieser Formel t vorher annehmen oder nach der Gleichung 10 bestimmen.

b) Der Damm ist nicht sehr niedrig. Bei einigermassen hohen Dämmen wird es zweckmässig, nicht in zur Bahn senkrechter Richtung zu transportiren, sondern zur Erzielung einer geringeren Steigung die Transportweite zu vergrössern. In diesem Falle ist nach §. 78 $l_0 = Ch$ zu setzen, wobei C nach §. 78 zu bestimmen ist. In diesem Falle ergibt sich in ganz gleicher Weise, wie im vorigen Falle

$$14. \quad t = \sqrt{\frac{2\beta}{C\alpha}},$$

worauf b nach 7. zu bestimmen ist. Das Verhältniss $b:t$ wird

$$15. \quad \frac{b}{t} = \frac{CF\alpha}{2\beta} + m.$$

Hiernach ist die Tiefe des Materialgrabens vom Flächeninhalte des Profils unabhängig.

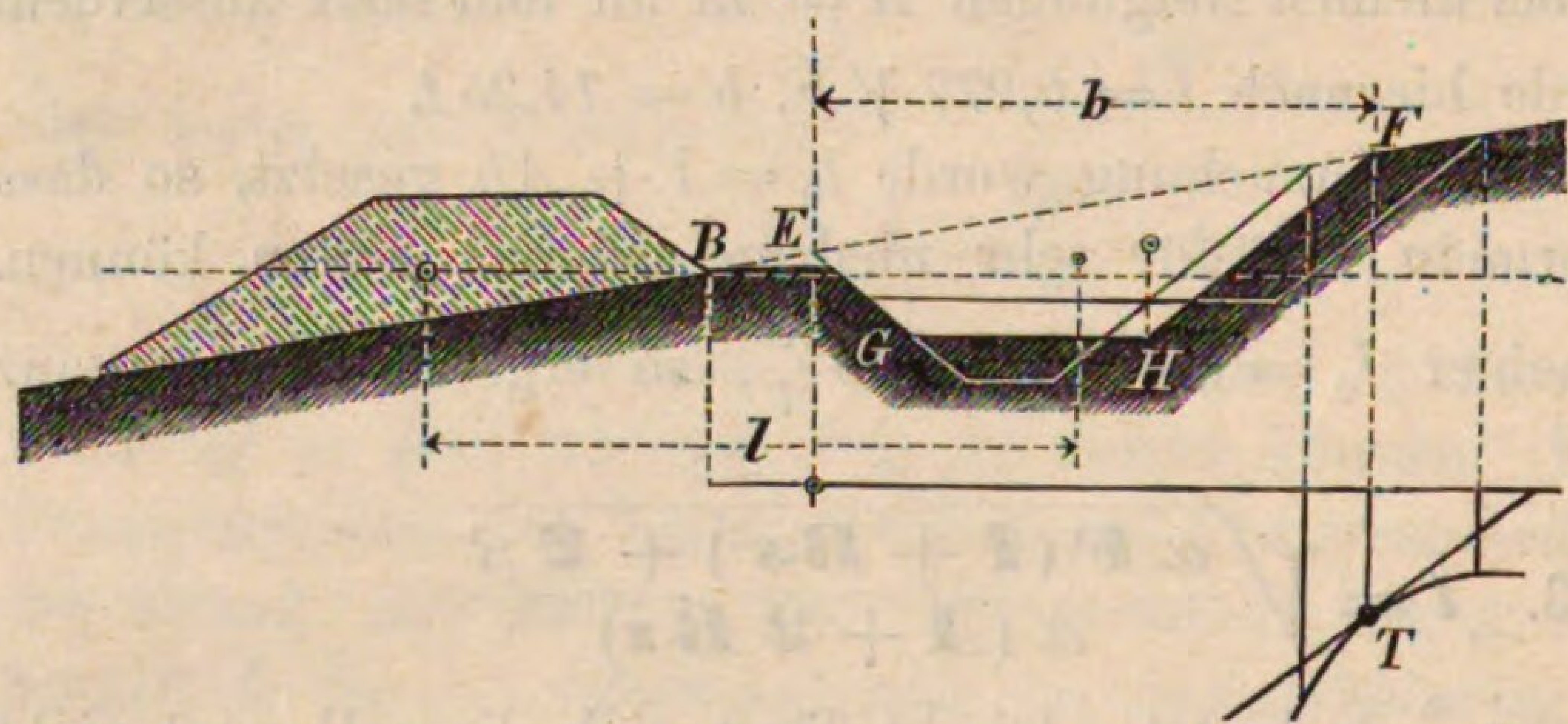
Setzen wir beispielsweise für Schubkarrentransport $\alpha = 0{,}0011$ *Gulden* (pro 1 Kubikmet. und 1 Met. Länge) und $C = 49$, so wird $t = 6{,}09\sqrt{\beta}$, also für

$\beta = 0{,}05\ 0{,}10\ 0{,}15\ 0{,}20\ 0{,}25\ 0{,}30\ 0{,}35\ 0{,}40$ *Gulden*,
$t = 1{,}36\ 1{,}92\ 2{,}36\ 2{,}72\ 3{,}05\ 3{,}33\ 3{,}60\ 3{,}85$ *Meter*.

Wir haben bisher vorausgesetzt, dass nur ein Materialgraben vorhanden sei. Man ordnet indess zuweilen auf jeder Seite einen Materialgraben an. In diesem Falle ist in den Formeln 8. bis 13. $\frac{1}{2}F$ für F zu setzen. Der Ausdruck 14 behält seine volle Giltigkeit.

Die Transportkosten bleiben nahezu dieselben, wie bei einem Materialgraben, während die Gesammtbreite beider Gräben grösser ausfällt, als die eines einzigen, so dass die Grundeinlösung theurer wird. Im Allgemeinen ist daher ein Materialgraben vorzuziehen. Der Unterschied ist indess nicht bedeutend. Kommt es auf möglichst schnelle Vollendung an, so würden zwei Materialgräben vorzuziehen sein.

Fig. 93.



2. Geneigtes Terrain (Fig. 93). Bezeichnen wir die Tangente des Neigungswinkels des Terrains mit n, so ergibt sich leicht, wie in §. 42:

$$16. \quad F = \tfrac{1}{4}\,(1 - m^2 n^2)\,(m n^2 b + 4t)\, b - m t^2.$$

Nimmt man t an, so ergibt sich b hiernach durch die quadratische Gleichung

$$17. \quad b^2 + \frac{4}{m n^2} - b t - \frac{4\,(m t^2 + F)}{m n^2\,(1 - m n^2)} = o.$$

Die weitere analytische Behandlung stösst allerdings auf Schwierigkeiten. Am besten bedient man sich der folgenden grafischen Methode: Für niedrige Dämme ist $K = \alpha F (l + A h) + \beta b$. Hiernach wird K zu einem Minimum für $o = \alpha F d b + \alpha F A d y + \beta d b$ oder für

$$18. \quad \frac{dl + A\,dh}{db} = -\frac{\beta}{\alpha F}.$$

Zur direkten Anwendung dieser Regel konstruirt man einige, mindestens drei, Materialgräben mit verschiedenen Dimensionen, aber demselben Flächeninhalte F, und bestimmt hierzu die Schwerpunkte. Man trägt sodann die Breiten b als Abscissen, die Grössen $l + Ah$ als Ordinaten auf und legt an die so erhaltene Kurve eine Tangente, welche mit der Abscissenaxe einen Winkel einschliesst, dessen Tangente $= -\frac{\beta}{\alpha F}$ ist. Die Abscisse des Tangentialpunktes ist alsdann die gesuchte Breite b. Man kann aber auch für verschiedene Werthe von b den Preis K als Ordinate auftragen und alsdann dasjenige b beibehalten, welches dem tiefsten Punkte entspricht.

Bei hohen Dämmen ist C für A und $l = o$ zu setzen. Hier würde also Ch als Ordinate aufzutragen sein.

Die Regeln für hohe Dämme sind in Anwendung zu bringen, wenn

sich die zweckmässigste Transportweite Ch grösser ergibt, als die direkte Horizontalentfernung der Schwerpunkte. Streng genommen wären für den oberen Theil des Materialgrabens die Regeln für niedere Dämme, für den unteren Theil dagegen die Regeln für hohe Dämme anzuwenden; jedoch wird hierdurch die Rechnung wesentlich komplicirt.

Beispiel. Der Damm habe bei horizontalem Terrain 3^m Höhe, 4^m Planiebreite und $1\frac{1}{2}$ fache Böschungen, so dass für $\varkappa = 0,05$, die Fläche $F = \frac{(4+1,5.3).3}{1,05}$ $= 24,3\,\square^m$ wird. Setzen wir nun $m = 1,25$, $\alpha = 0,0015$ Gulden pro Kubikmeter und Meter, $\beta = 0,2$ Gulden pro $\square$ *Met.*, $A = 13$, $B = 352$, $C = 49$, so wird zunächst nach Formel 14.:

$$t = \sqrt{\frac{2\,.\,0,2}{49\,.\,0,0015}} = \sqrt{\frac{0,4000}{0,0735}} = 2,33^m.$$

Bei Anwendung eines Materialgrabens wird nun nach Formel 9:

$$b = \frac{24,3}{2,33} + 1,25\,.\,2,33 = 13,34^m.$$

Die Querschnittsfläche des Dammes ist $= (4 + 1,5\,.\,3)\,.\,3 = 25,5\,\square^m$. Der Abstand des Schwerpunktes vom Terrain wird im Damme $= \frac{3}{6}\left(3 - \frac{1,5\,.\,3^2}{25,5}\right) = 1,235^m$, im Materialgraben $= \frac{2,33}{6}\left(3 - \frac{1,25\,.\,2,33^2}{24,3}\right) = 1,057^m$. Lassen wir zwischen Damm und Graben eine Berme von 1^m, so ist die normale Weglänge $= 2 + \frac{3}{2}\,.\,3 + 1,$ $+ \frac{1}{2}\,.\,13,34 = 14,2$, die Transporthöhe $h = 1,235 + 1,057 = 2,292^m$; die zweckmässigste Weglänge ist nach §. 78. $= 18,1\,.\,2,292 = 41,5^m$, d. i. $> 14,2^m$, so dass in der That die Regeln für hohe Dämme in Anwendung zu bringen sind.

Bei Anwendung zweier Materialgräben bleibt die Tiefe dieselbe; die obere Breite wird

$$b = \left(\frac{53\,.\,12,25\,.\,0,0015}{2\,.\,0,2} + 1,25\right)\,.\,2,19 = 8,07^m.$$

Es ergibt sich nun leicht als Transporthöhe $0,971 + 0,914 = 1,885^m$ und als zweckmässigste Weglänge $21,7\,.\,1,885 = 40,9^m$.

Die Kosten K sind, inkl. Grunderwerb für die Bermen, im ersten Falle

$$K = 0,0015\,.\,24,3\,.\,48,5 + 0,2\,.\,(13,32 + 1) = 4,63$$

und im zweiten Falle

$$K = 2\,[0,0015\,.\,12,05\,.\,40,9 + 0,2\,(8,07 + 1)] = 5,07,$$

so dass hier die Kosten bei zwei Materialgräben um circa *8 Procent* höher sind, als bei einem Materialgraben.

§. 93. Schneedämme. Die vorigen Untersuchungen können ebenfalls bei der Anlage von Dämmen, welche zur Sicherung gegen Schneeverwehungen neben Einschnitten angelegt werden, Anwendung finden. Da hier der Grund und Boden für den Materialgraben bereits für den Einschnitt veranschlagt wurde, so ist $\beta = o$ zu setzen. Die Formel 14. gibt alsdann $t = o$, also $b = \infty$. Hiernach würde das Material zum

Schneedamme über die ganze Breite des Einschnittes zu gewinnen sein. Dies hat indess nur so lange Giltigkeit, als eine grössere Transportweite, als die normale, nach Massgabe des §. 78. zweckmässig sein würde, was indess bei nicht sehr breiten Einschnitten immer der Fall ist.

Beispiel. Der einseitige Schneedamm habe $0{,}5^m$ obere Breite, 3^m Höhe, $1\frac{1}{4}$ fache Böschungen, also 8^m untere Breite und $12{,}75\,\square^m$ Querschnitt. Der Materialgraben wird $\frac{12{,}75}{1{,}05} = 12{,}14\,\square^m$ Querschnitt haben müssen. Ist die obere Breite des Einschnittes b, so würde $F = (b - m\,t)\,t$ oder $t^2 - \frac{b}{m}\,t + \frac{F}{m} = o$, d. i. für $m = 1{,}25$: $t^2 - 0{,}8\,b\,t + 9{,}712 = o$. Hieraus ergibt sich für

$b =$	8	10	12	14	16	18	20	22	Meter
$t =$	2,47	1,49	1,15	0,95	0,81	0,71	0,63	0,57	„
$h =$	2,04	1,75	1,61	1,53	1,45	1,41	1,37	1,34	„

Nimmt man den Abstand zwischen Damm und Einschnitt zu 8^m an, so ist die horizontale Entfernung der Schwerpunkte bezüglich *16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 Meter*, während die zweckmässigste Transportweite $= 18\,h$, d. i. bezüglich *37, 32, 29, 28, 26, 25, 25, 24 Meter* ist. Erst bei einer Einschnittsbreite von 23^m würden beide Wege gleich werden und bei einer noch grösseren Breite müsste nach Formel 10. bis 13. gerechnet werden.

§. 94. Kontinuirliche Seitenablagerungen. Das in §. 92. Gesagte gilt im Allgemeinen auch hier. Während man dort mit der Tiefe beschränkt sein kann, wird man hier allerdings mit der Höhe nicht beschränkt sein; nur eine Beschränkung der Breite kann unter gleichen Umständen eintreten. Die Resultate der theoretischen Untersuchung bleiben giltig; nur ist, wenn man den Index *1* für den Einschnitt anwendet, nicht $F_1 = (1 + \varkappa)\,F$, sondern $F = (1 + \varkappa)\,F_1$ zu setzen. Statt der Formel 9. ist daher, wenn hier b die untere Breite der Seitenablagerung bezeichnet, die Formel

$$19.\quad b = \frac{F}{t} - m\,t = (1 + \varkappa)\frac{F_1}{t} - m\,t$$

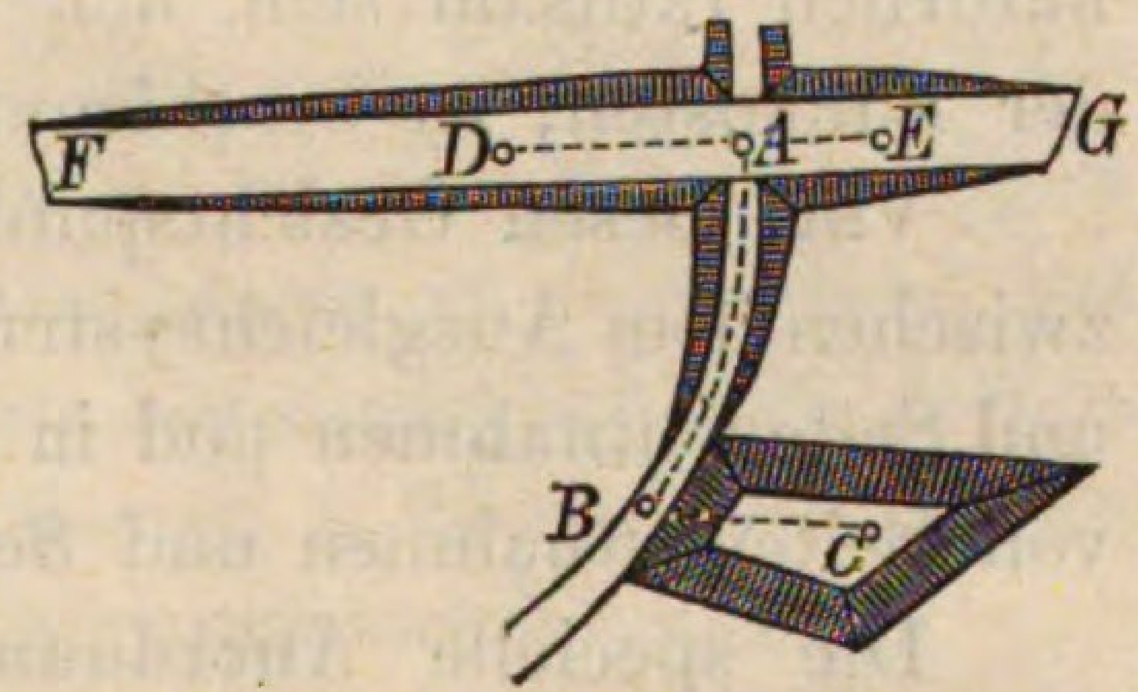
anzuwenden. Während sich in §. 92. der Preis des Transportes pro Volumen- und Längeneinheit auf die Einschnittsmasse bezieht, bezieht sich derselbe hier auf die aufgelockerte Auftragsmasse.

§. 95. Unvollständige Seitenentnahme und Seitenablagerung. Bei sehr hohen Dämmen und sehr tiefen Einschnitten, bei welchen das Material bei einer vollständigen Seitenentnahme, resp. Seitenablagerung sehr hoch zu heben sein würde, kann es unter Umständen zweckmässig sein, nur den unteren Theil des Dammes durch Seitenentnahme zu bilden, resp. den oberen Theil des Einschnittes seitlich abzulagern und für den übrigen Theil Längentransport anzuwenden. Eine theoretische Be-

stimmung der Höhe, in welcher eine Trennung dieser beiden Transportarten erfolgen müsste, ist sehr schwierig, weil sich mit dieser Höhe auch die Disposition für den Längentransport ändern würde. Am besten wird man hier, wenn man genau zu Werke gehen will, einen Kostenanschlag für mindestens drei Dispositionen machen, worin als Grenzen auch der vollständige Längentransport und der vollständige Seitentransport enthalten sein können. Setzt man die Kosten für die Höhe y der Trennungsfläche $K = a + by + cy^2$, so würde man durch die Kostenanschläge a, b, c bestimmen können. Für die zweckmässigste Höhe wäre alsdann $o = \frac{dK}{dy} = b + 2cy$, oder $y = -\frac{b}{2c}$. Eine weitere Erläuterung dieses Falles wird das in §. 103. durchzuführende Beispiel geben.

§. 96. Partieller Seitentransport. Zuweilen muss das Material an einzelnen bestimmten Stellen gewonnen oder abgelagert werden. Hier wird das Material meist auf einem bestimmten Wege AB (Fig. 94) verführt werden. Der Weg ist alsdann z. B. für den Theil AF des Auf- oder Abtrags gleich der Summe aus dem Abstande AD des Schwerpunktes D von A, der Weglänge AB und einer meist zu schätzenden mittleren Weglänge BC in der Materialgrube oder dem Lagerplatze. Bei einer Steigung ist die Reduktion nach dem Früheren vorzunehmen.

Fig. 94.



Wenn der Materialgraben oder die Ablagerung unmittelbar neben der Bahn liegt, aber nicht die ganze Länge der betreffenden Strecke einnimmt (Fig. 87), so ist diese Strecke in mehrere Theile zu theilen und für jeden Theil die Transportweite annähernd zu bestimmen, was am besten im Grundrisse schätzungsweise geschehen kann.

Einen speciellen Fall bilden die R a m p e n der Planieübergänge. Da diese Rampen nur einen sehr kleinen Theil der vorkommenden Aufträge ausmachen, so genügt eine annähernde Bestimmung des Schwerpunktes. Die genaue Berechnung gibt, dass bei nahezu ebenem Terrain der Abstand des Schwerpunktes von der betreffenden Kante der Bahnplanie oder von A (Fig. 80, Seite 83) $= 0{,}33\,l$ bis $0{,}38\,l$ ist, wenn l die ganze Länge AE bezeichnet. Man wird also in fast allen Fällen genau genug

$$20. \quad \boldsymbol{x = 0{,}36\,l}$$

setzen können. Hierzu ist noch die halbe Planiebreite hinzuzufügen um den nöthigen Zuschlag zur Transportweite in der Bahnrichtung zu erhalten.

Bei einem Wächterhausbankette ist der Zuschlag gleich der Summe aus der Entfernung des Schwerpunktes der Plattform von der Eisenbahnaxe und der halben horizontalen Böschungsbreite.

§. 97. Zweckmässigste Massendisposition. Im Allgemeinen ist diejenige Vertheilungsweise der Massen die vorzüglichste, bei welcher die Kosten ein Minimum werden, abgesehen von jenen Anordnungen, welche für die Güte und lange Dauer des Erdbaues (z. B. Verwendung und Nichtverwendung bestimmter Materialien) nöthig sind.

Unter Umständen kann aber auch die zur Ausführung nöthige Zeit in Frage kommen. Im Allgemeinen ist nämlich daran gelegen, die Bahn möglichst zeitig eröffnen zu können; es kann aber auch der Fall eintreten, dass einzelne Strecken bei derjenigen Behandlungsweise, welche die geringsten Baukosten verursachen würde, längere Zeit erfordern, als der übrige Theil der Bahn. In solchen Fällen wird es natürlich rathsam sein, den Bau dieser Strecken, selbst unter Erhöhung der Baukosten, zu beschleunigen.

Von diesen Gesichtspunkten aus wurde bereits im §. 81. die Wahl zwischen dem Ausgleichsysteme und dem Systeme der Seitenablagerungen und Seitenentnahmen und in §. 90. bis 92. die zweckmässigste Anordnung von Seitenentnahmen und Seitenablagerungen besprochen.

Die specielle Anordnung der ganzen Massendisposition erfordert eine allerdings grosse Umsicht und Uebung, sowie ein Bekanntsein mit den Details der Bauausführung. Man wird im Allgemeinen zunächst eine Disposition im Rohen nach Gutdünken treffen; in zweifelhaften Fällen wird man mehrere solcher Dispositionen treffen, um nachträglich durch eine Kostenberechnung zu entscheiden. Ist dies erfolgt, so geht man zur genaueren Disposition über. Sehr häufig ist man allerdings ganz auf sein praktisches Gefühl angewiesen; jedoch lässt sich meist die zweckmässigste Disposition theoretisch ermitteln, wie im folgenden §. auf Grundlage der grafischen Darstellung gezeigt werden soll.

§. 98. Wahl der Vertheilungslinie. Bei der Wahl der Vertheilungslinie im Vertheilungsprofile sind zunächst solche Punkte aufzusuchen, über welche hinaus nicht transportirt werden kann; ausser den wirklichen Enden der Bahn sind dies z. B. solche Stellen, an welchen Brücken nöthig werden, insofern deren Bau gleichzeitig mit der Ausführung der Erdarbeiten erfolgt; Einschnitte oder Tunnel in Felsen, welche lange Zeit erfordern; Stellen, bis zu welchen sich aus besonderen Gründen Seitenentnahmen oder Seitenablagerung erstrecken u. s. w. Zwischen je zwei solchen Punkten, die wir Fixpunkte nennen wollen, lässt sich die Vertheilungslinie verschieden wählen.

Die Gewinnungskosten des Einschnittmateriales kommen bei der Vertheilung nicht in Frage, da dieselben bei verschiedenen Vertheilungsweisen gleich bleiben. Die Transportkosten K lassen sich aus einem dem Volumen V proportionalen Theile, welcher dem Zeitverluste beim Auf- und Abladen entspricht, und einem dem Transportmomente T proportionalen Theile zusammensetzen, so dass man also

$$21. \quad \boldsymbol{K = \alpha V + \beta T}$$

setzen kann, wobei α und β Erfahrungskoefficienten bedeuten, welche für verschiedene Transportweisen verschiedene Werthe haben.

Bei geneigter Bahn kann man hierbei in doppelter Weise verfahren: 1. Man kann für T das reducirte Transportmoment und für β den Preis auf horizontaler Bahn einführen. 2. Man kann für T das nicht reducirte Transportmoment und für β den Preis auf die Längeneinheit der steigenden Bahn einführen. Im Resultate ist dies natürlich gleichgültig; indess ist das zweite Verfahren in der Durchführung etwas einfacher, weil man hierbei Preistabellen für verschiedene Neigungen aufstellen und benutzen kann. Bei variabeler Neigung wird es in der Regel genügen, das Transportmoment für die einzelnen Abtheilungen zu bestimmen und für jede derselben einen besonderen Preis pro Längeneinheit aufzustellen. Nur bei starkem Neigungswechsel müsste das in §. 87b. gezeigte Verfahren für die Reduktion der einzelnen Wege angewendet werden.

Anstatt $K = \alpha V + \beta T$ zu setzen, kann man auch $K = \beta_1 T$ setzen; ist l die Transportweite, also $T = Vl$, so wird $\alpha V + \beta Vl = \beta_1 Vl$, also $\beta_1 = \beta + \frac{\alpha}{l}$; also β_1 mit l variabel. Statt dessen kann man aber auch eine numerische oder grafische Tabelle verwenden, welche direkt die Werthe von $\beta_1 l = \alpha + \beta l$ enthält, wie sie z. B. von Launhardt (Massen-Nivellement, 1874) gegeben wird.

Bei den Seitenentnahmen und Seitenablagerungen kommen auch die Grundeinlösung, sowie die Planirung (einschl. Berasung etc.) der Böschungen und bei den Seitenentnahmen ausserdem auch die Gewinnungskosten in Frage. Bezeichnen wir mit F die Fläche des Querprofiles, mit l die reducirte Transportweite, mit b die Breite für die Grundeinlösung, mit c die Breite der zu planirenden Fläche im Profile, mit γ die Gewinnungskosten pro Volumeneinheit, mit δ die Kosten des Grund und Bodens pro Flächeneinheit und mit ε die Planirungskosten pro Flächeneinheit, so sind die bei der Massenvertheilung in Frage kommenden Kosten K pro Längeneinheit der Bahn für Seitenentnahmen:

$$K = (\alpha + \gamma)\, F + \beta\, Fl + \delta b + \varepsilon c$$

und für Seitenablagerungen:

$$K = \alpha\, F + \beta\, Fl + \delta b + \varepsilon c.$$

Zum Vergleiche mit den Kosten für den Längentransport, für welchen im Vertheilungsprofile die Transportweite als horizontale Gerade aufgetragen ist, ist es bequem, die Kosten K auf blossen Transport zu reduciren, d. h. $K = \beta F \lambda$ zu setzen, wenn λ die entsprechende ideale Transportweite bezeichnet. Hiernach ergibt sich für Seitenentnahmen:

$$22. \quad \lambda = l + \frac{\alpha + \gamma}{\beta} + \frac{\delta b + \varepsilon c}{\beta F}$$

und für Seitenablagerungen:

$$23. \quad \lambda = l + \frac{\alpha}{\beta} + \frac{\delta b + \varepsilon c}{\beta F}.$$

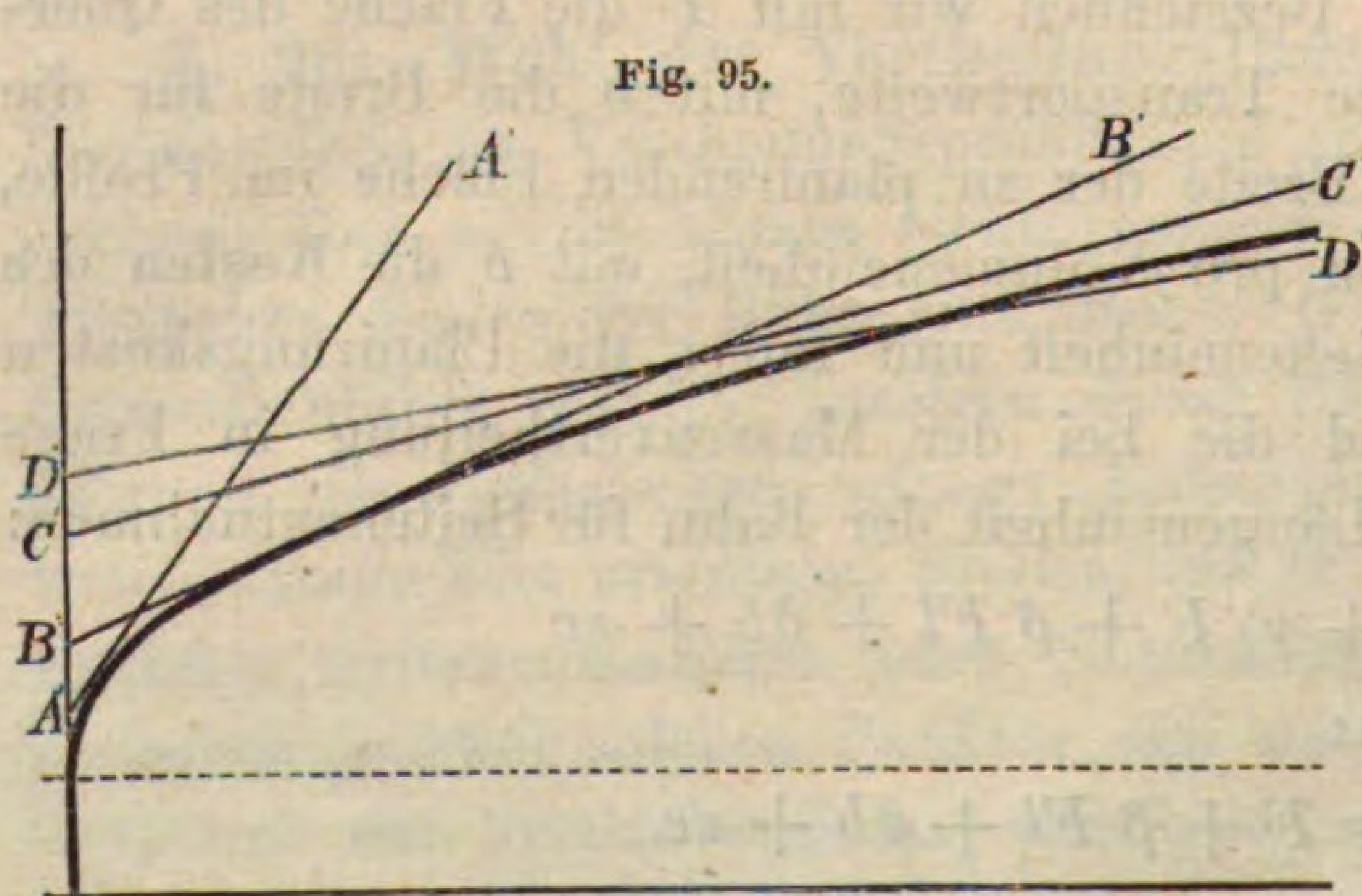
Trägt man diese Länge λ in Vertheilungsprofile als horizontale Gerade auf, so stellen die entstehenden Flächen, mit β multiplicirt, die Kosten K für den Seitentransport dar.

Wir wollen nun die weitere Behandlung nach der Anzahl der Uebergangspunkte (für Auftrag und Abtrag) trennen.

Ueber die Preise selbst, sowie die Grenzen der Transportweiten, für welche die einzelnen Transportweisen als zweckmässig erscheinen und andere für die Wahl der Transportweisen maassgebende Umstände sprechen wir bei der „Ausführung der Erdbauten". Hier handelt es sich nur darum, die nöthigen theoretischen Unterlagen zu gewinnen und es sei daher nur noch das Folgende angeführt.

Wie oben bemerkt, haben die Koefficienten α und β für verschiedene Transportweisen verschiedene Werthe. Im Allgemeinen wird man in jedem Falle diejenige Transportweise wählen, welcher die kleinsten Transportkosten entsprechen; die verschiedenen Transportweisen rangiren in dieser Hinsicht folgenderweise: Handwurf, Schubkarren, Handkippkarren, Pferdekarren, Pferdewagen auf Interimsbahnen und Lokomotiven, wobei der Handwurf den kleinsten Transportweiten entspricht. Da man nun aber von vornherein die mittlere Transportweite, von welcher die Wahl der Transportweise abhängt, noch nicht kennt, so entsteht eine Unbestimmtheit, welche Eickemeyer (das Massennivellement und dessen praktischer Gebrauch, 1870) in folgender Weise zu umgehen sucht: Stellt man die Transportweite l als Abscisse, die Kosten pro Volumeneinheit, d. i. die Grösse $k = \alpha + \beta l$ als Ordinate dar, so erhält man mehrere Gerade, und, wenn man immer nur die Transportweise wählt, welcher die kleinsten Kosten entsprechen, ein Polygon, für welches man annähernd auch eine Kurve setzen kann. Eickemeyer fand, dass man für das Polygon eine Parabel setzen könne (Fig. 95), deren Gleichung

Fig. 95.



$$k = A \sqrt{l} + B$$

ist, worin A und B Konstanten, l die Transportweite, k die Kosten pro Volumeneinheit be-

zeichnet. Basirt man nun hierauf die Bestimmung der zweckmässigsten Vertheilungslinie, so findet man, dass an Stelle des Produktes βb die Wurzel $\sqrt{b}$ und an Stelle des Gliedes α das Glied $\frac{A}{B}$ tritt.

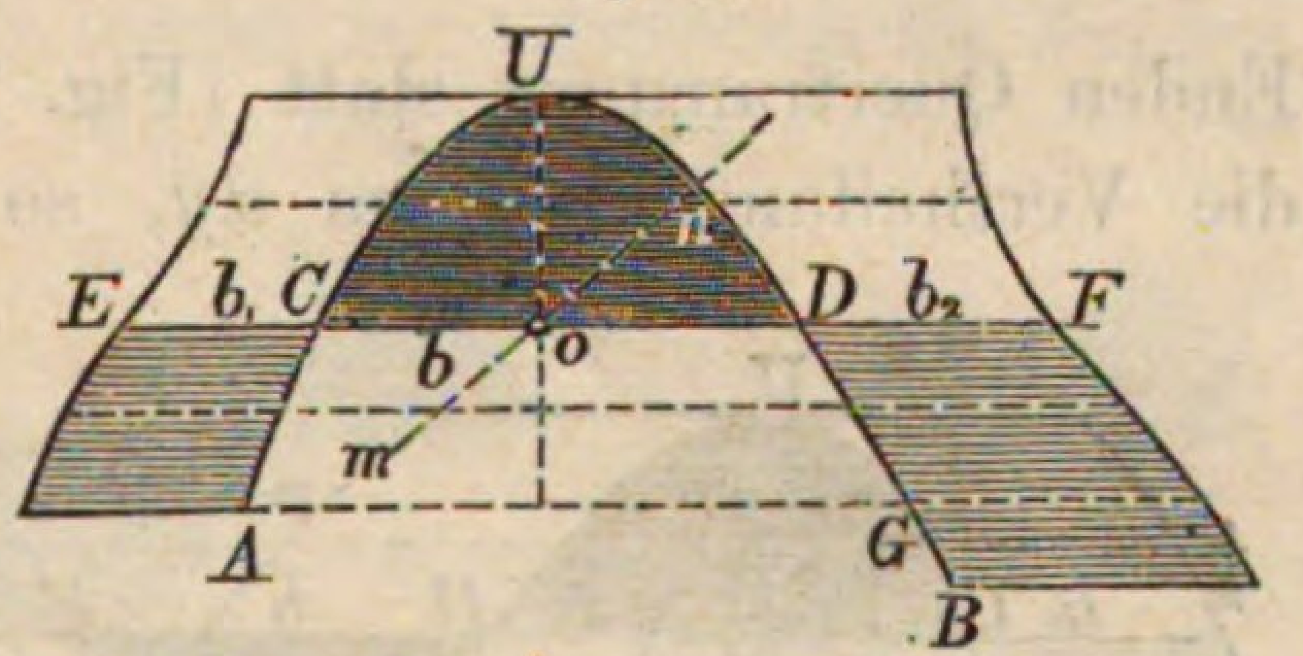
Indessen verdient das oben gegebene Verfahren jedenfalls den Vorzug und zwar: 1. Weil dieses Verfahren korrekter ist, da es die Transportkosten so einführt, wie sie wirklich sind. 2. Weil dieses Verfahren einfacher zum Ziele führt, da das Ausziehen der Wurzeln wegfällt und nach Festlegung der Vertheilungslinie eine einfachere Bestimmung der Kosten zulässt. 3. Weil das Gesetz, dass das Polygon mit einer Parabel vertauscht werden kann, ein rein zufälliges ist und durch verschiedene Umstände, z. B. eine Veränderung der Unterhaltungskosten der Pferde, ganz geändert werden kann.

Die Unbestimmtheit, welche unserem Verfahren anhaftet, ist in der Anwendung ganz ohne Belang, da man ja schon in Voraus die mittlere Transportweite in jeder Sektion und somit die zweckmässigste Transportweise durch eine Schätzung beurtheilen kann und sollte die hierauf basirte Bestimmung der Vertheilungslinie zeigen, dass man sich geirrt habe, so kostet eine Wiederholung des einfachen Verfahrens immerhin weniger Zeit, als das Eikemeyer'sche Verfahren.

§. 99. Vertheilung bei einem Uebergangspunkte. Bezeichnet man für die beliebige Vertheilungslinie CD (Fig. 96) die Flächen für den Längentransport und den Seitentransport an den Enden bezüglich mit F, F_1 und F_2 und die Höhe der Fläche CUD mit y, so sind die Kosten

$$K = \alpha y + \beta F + \beta_1 F_1 + \beta_2 F_2.$$

Fig. 96.



Bezeichnen wir ferner die Breiten CD, CE und DF bezüglich mit b, b_1 und b_2, so ändert sich bei einer Verschiebung der Vertheilungslinie um dy, y um dy, F um $b\,dy$, F_1 um $-b_1\,dy$ und F_2 um $-b_2 dy$. Demnach ist $dK = (\alpha + \beta b - \beta_1 b_1 - \beta_2 b_2)\,dy$. Sonach wird K zu einem Minimum für

$$24. \quad \boldsymbol{\beta b - \beta_1 b_1 - \beta_2 b_2 + \alpha = o.}$$

Grafisch lässt sich hiernach die Vertheilungslinie leicht bestimmen, indem man für zwei beliebige Vertheilungslinien den Werth von $\beta b - \beta_1 b_1 - \beta_2 b_2 + \alpha$ mit Rücksicht auf das Vorzeichen als Ordinate für eine vertikale Axe auf der betreffenden Vertheilungslinie aufträgt; verbindet man die so erhaltenen Punkte m und n, so geht die zweckmässigste Vertheilungslinie durch den Durchschnittspunkt O mit der vertikalen Axe.

Es kann allerdings bei kleiner Länge des Erdkörpers der Fall eintreten, dass für keine Vertheilungslinie $\beta b = \beta_1 b_1 + \beta_2 b_2 - \alpha$ wird. Alsdann würde zwischen A und G nur Längentransport anzuwenden sein und Quertransport nur auf die Länge BG stattfinden, wenn nicht etwa zufällig vollständiger Ausgleich eintritt.

Launhardt nennt die hiernach bestimmte Vertheilungslinie bei einem Uebergangspunkte eine Massengleiche.

§. 100. Vertheilung bei zwei Uebergangspunkten. Hier ist dieselbe Konstruktion an beiden Uebergangspunkten U, V (Fig. 97) zu wiederholen. Im Allgemeinen wird alsdann Quertransport an den Enden und in der Mitte stattfinden (Fig. 97). Wenn A über B liegt, so kann der Fall eintreten, dass an keinem Uebergangspunkte $b = b_1 + b_2$ wird und alsdann findet nur Quertransport in der Mitte statt (Fig. 98). Wenn A unter B liegt, so kann der Fall eintreten, dass bei Anwendung der entwickelten Regel die Vertheilungslinie CD unter die Vertheilungslinie EF zu liegen kommt, was indess keinen Sinn hätte, da alsdann das zwischen D und E liegende Material zweimal zu transportiren wäre. In diesem Falle findet nur an den Enden Quertransport statt (Fig. 99). Verschiebt man in diesem Falle die Vertheilungslinie um dy, so wird $dK = (\beta b - \beta' b' - \beta_1 b_1 + \beta_2 b_2 + \alpha - \alpha') \, dy$, wenn man $CD = b$, $DF = b'$ setzt und indem man beachtet, dass sich bei Verschiebung der Vertheilungslinie die Flächen F, F_2 vergrössern, die Flächen F', F_1 verkleinern.

Fig. 97.

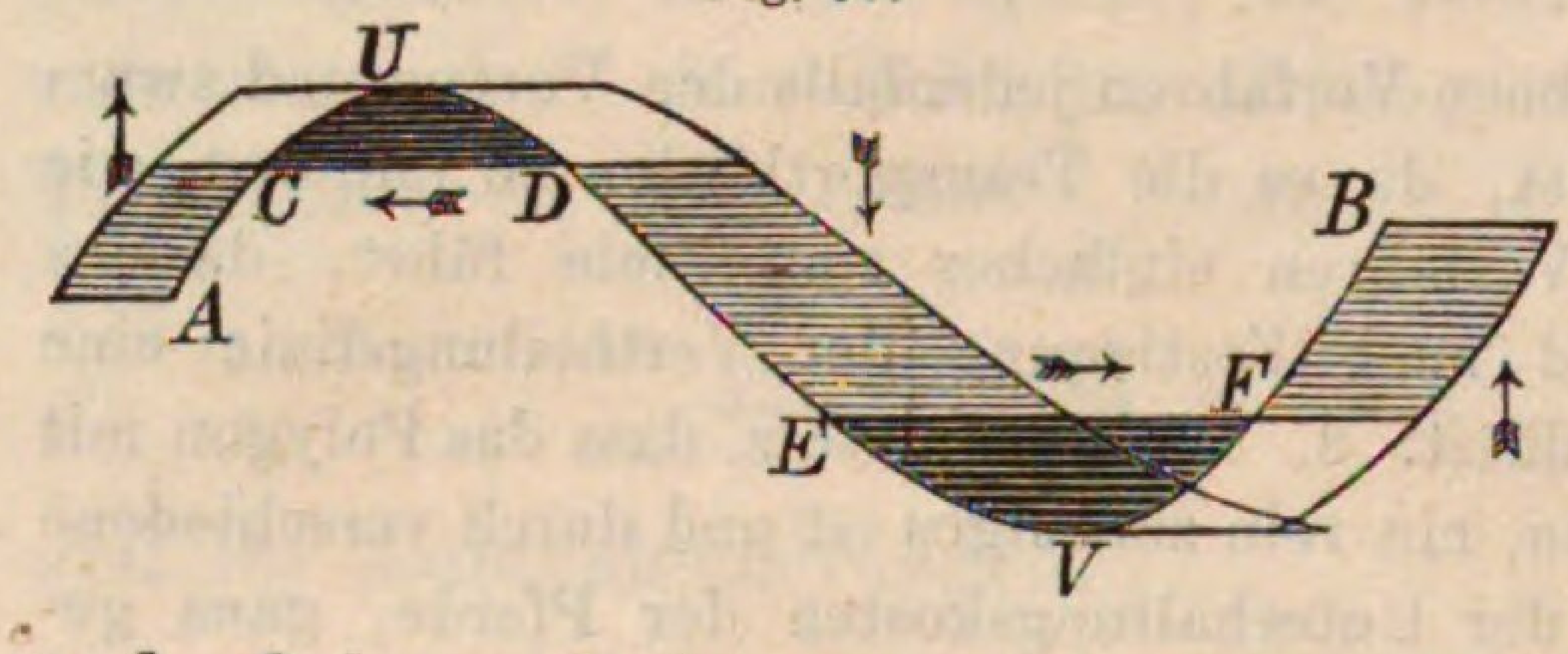


Fig. 98.

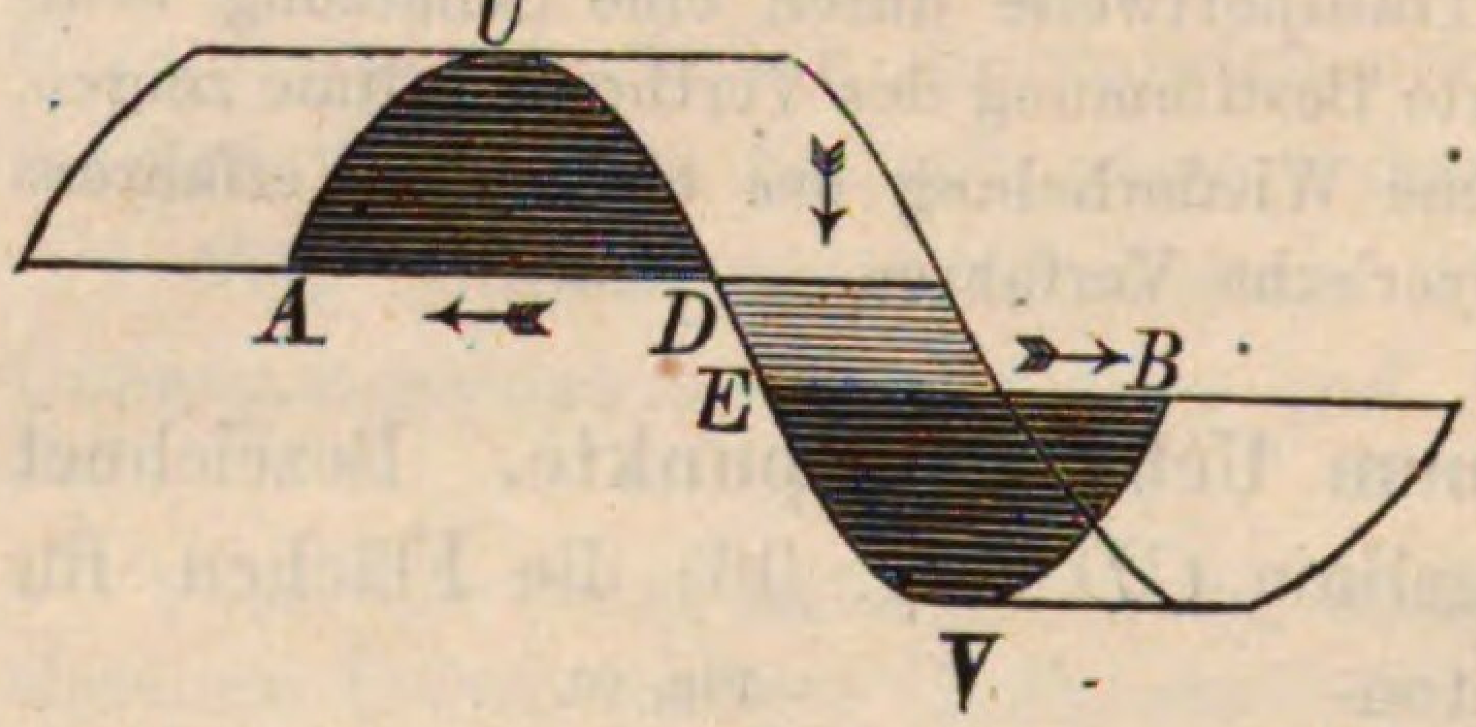
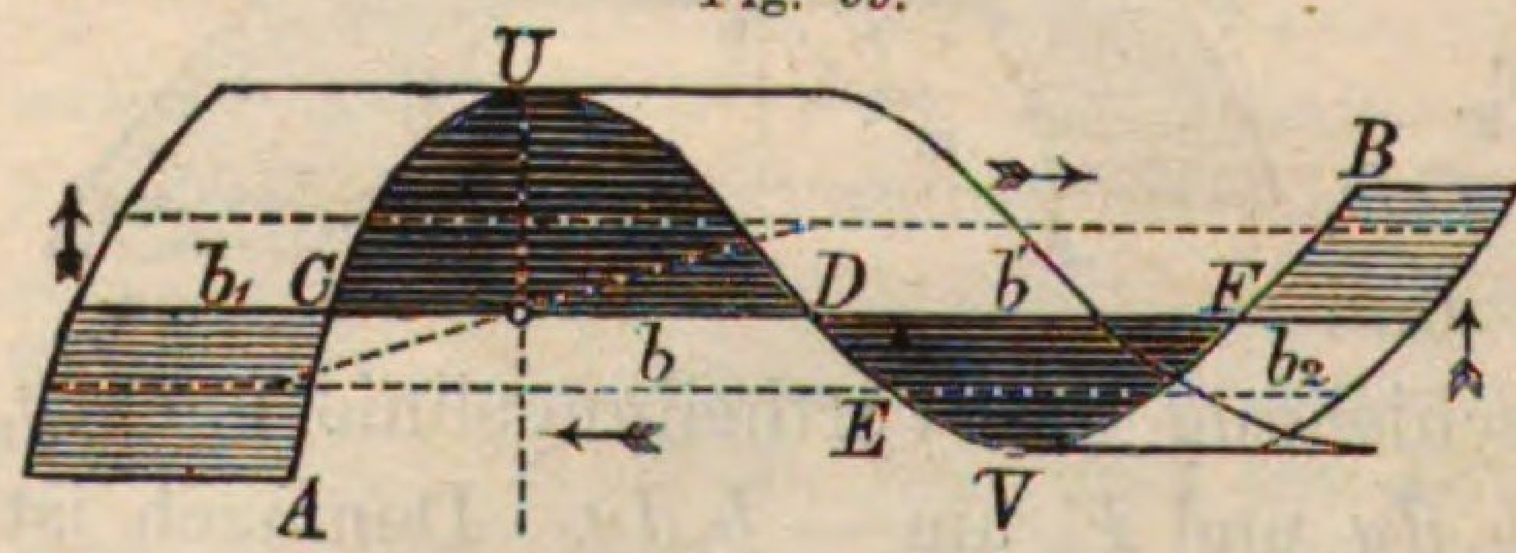


Fig. 99.



Demnach wird K zum Minimum für

$$25. \quad \beta b - \beta' b' - \beta_1 b_1 + \beta_2 b_2 + \alpha - \alpha' = o.$$

Bei gleichen Transportweisen wird

$$26. \quad b - b' = b_1 - b_2.$$

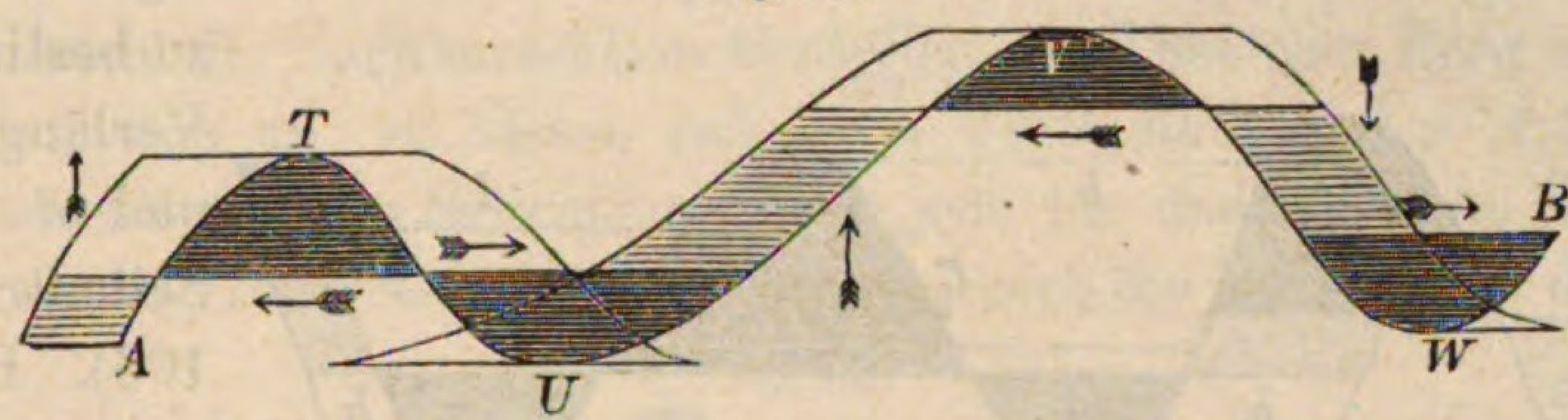
Die grafische Konstruktion ist wie im vorigen Falle durchzuführen.

Launhardt nennt im letzteren Falle die Vertheilungslinie CF, wenn es sich um die Anschüttung eines Dammes aus zwei Einschnitten handelt, die Anfuhrlinie für diesen Damm, und wenn es sich um die Verwendung eines Einschnittes zu zwei Dämmen handelt, die Verwendungslinie für diesen Einschnitt.

§. 101. Vertheilung bei beliebig vielen Uebergangspunkten. Die in §. 99 gezeigte Konstruktion der Massengleiche ist hier an jedem der Uebergangspunkte T, U, V etc. (Fig. 100) zu wiederholen. Im

Allgemeinen wird hierbei an den Enden A, B und zwischen je zwei Uebergangspunkten Quertransport und an den Uebergangspunkten selbst Längentransport stattfinden. Die Quertransporte an den Enden können hierbei wie in Fig. 100 bei B in Wegfall kommen.

Fig. 100.

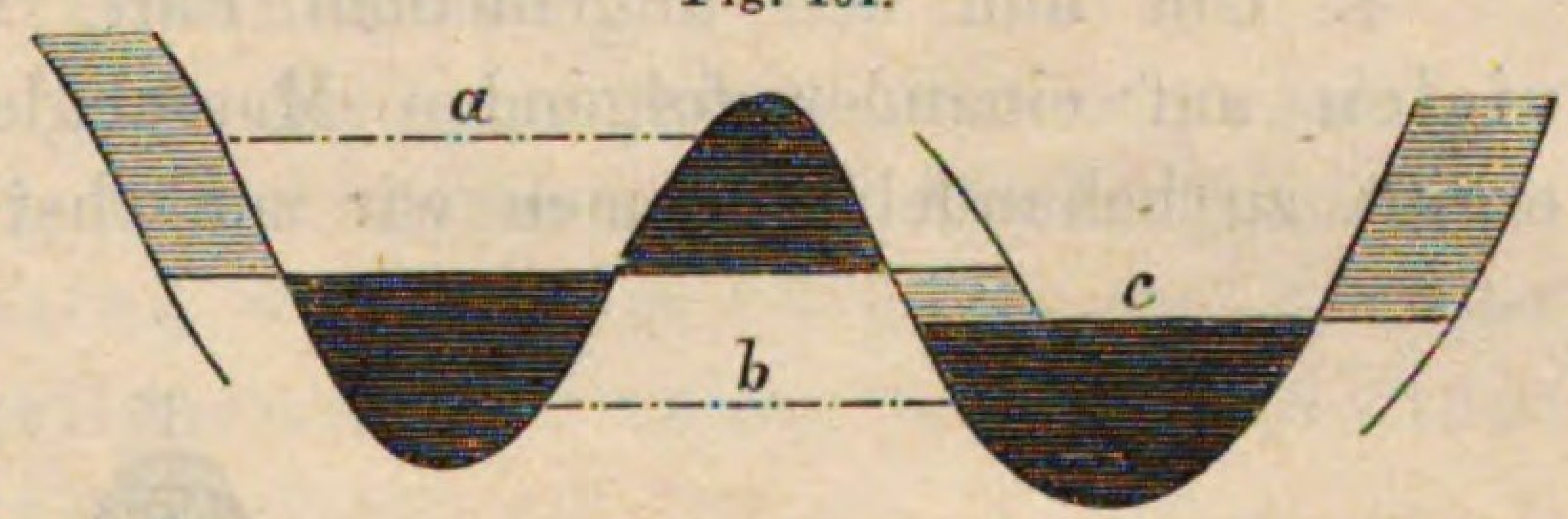


Hierbei kann es sich nun aber ereignen, dass über gewisse Theile des Materiales doppelt verfügt wird, was natürlich unmöglich ist. Wir wollen in dieser Beziehung die folgenden Fälle unterscheiden:

1. Ergibt sich, dass bei zwei auf einander folgenden Massengleichen ein Theil doppelt zu verwenden wäre, so ist statt der beiden Massengleichen nach dem vorigen §. eine einzige Vertheilungslinie zu bestimmen, wie z. B. zwischen T und U in Fig. 100.

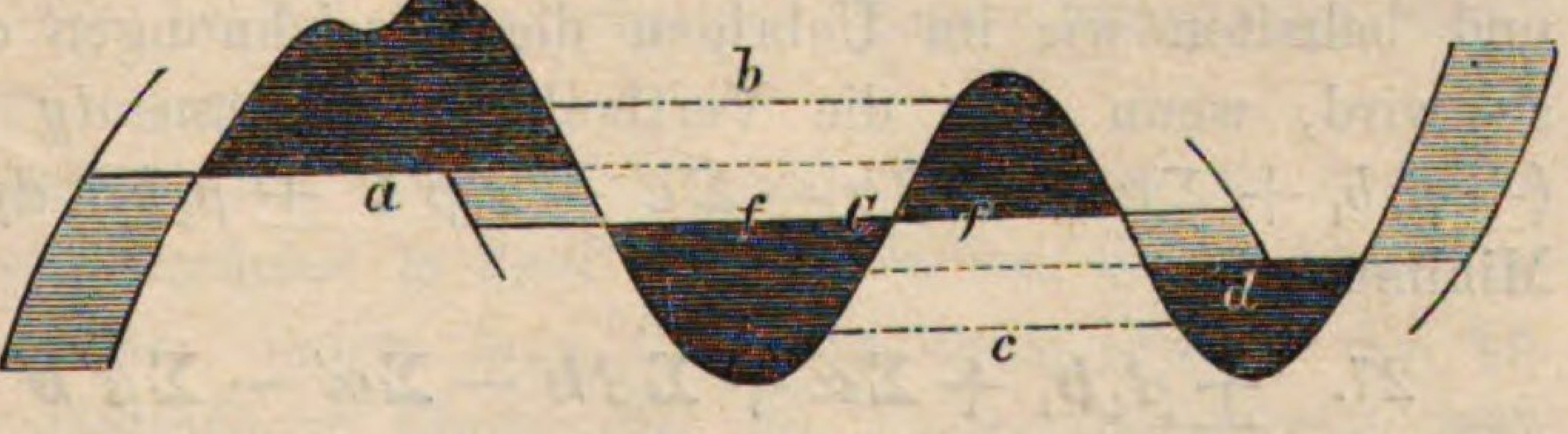
2. Ergibt sich bei drei auf einander folgenden Massengleichen a, b, c (Fig. 101) eine doppelte Verwendung, so ersetzt man zunächst die beiden am weitesten von einander abstehenden Massengleichen a und b durch eine einzige Vertheilungslinie d. Ergibt sich hierbei zwischen d und c Seitentransport, so sind d und c als wirkliche Vertheilungslinien beizubehalten. Ergibt sich aber zwischen d und c wiederum doppelte Verwendung, so sind alle drei Massengleichen a, b, c durch eine einzige Vertheilungslinie zu ersetzen.

Fig. 101.



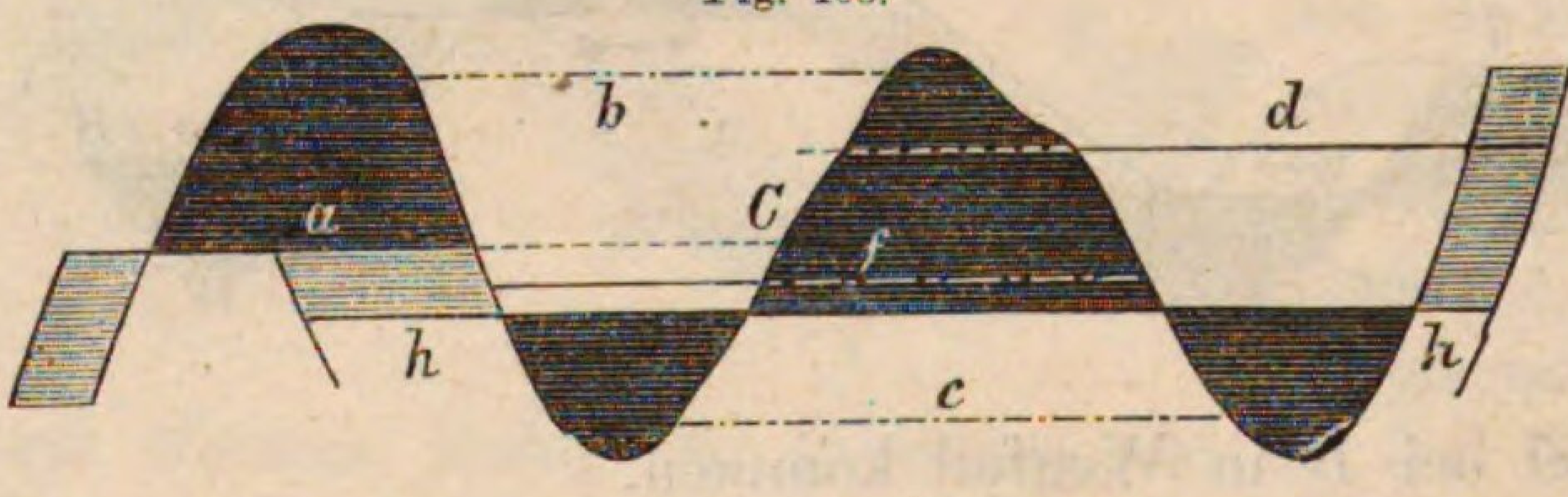
3. Ergibt sich bei vier auf einander folgenden Massengleichen a, b, c, d (Fig. 102 und 103) eine doppelte Verwendung, so lasse sich a und b, b und c, c und d bezüglich durch die Vertheilungslinien e, f, g ersetzen. Wir unterscheiden zwei Fälle: a. Die Verlängerung von a und d gebe bei C doppelte Verwendung (Fig. 102). Hier muss die Annahme der Vertheilungslinien e und g offenbar bei C wieder eine doppelte Verwendung geben; man wird also nur die Vertheilungslinie f konstruiren. Ergibt sich hierbei sowohl zwischen a und f, als zwischen d und f Seitentransport, so sind a, f und d als Ver-

Fig. 102.



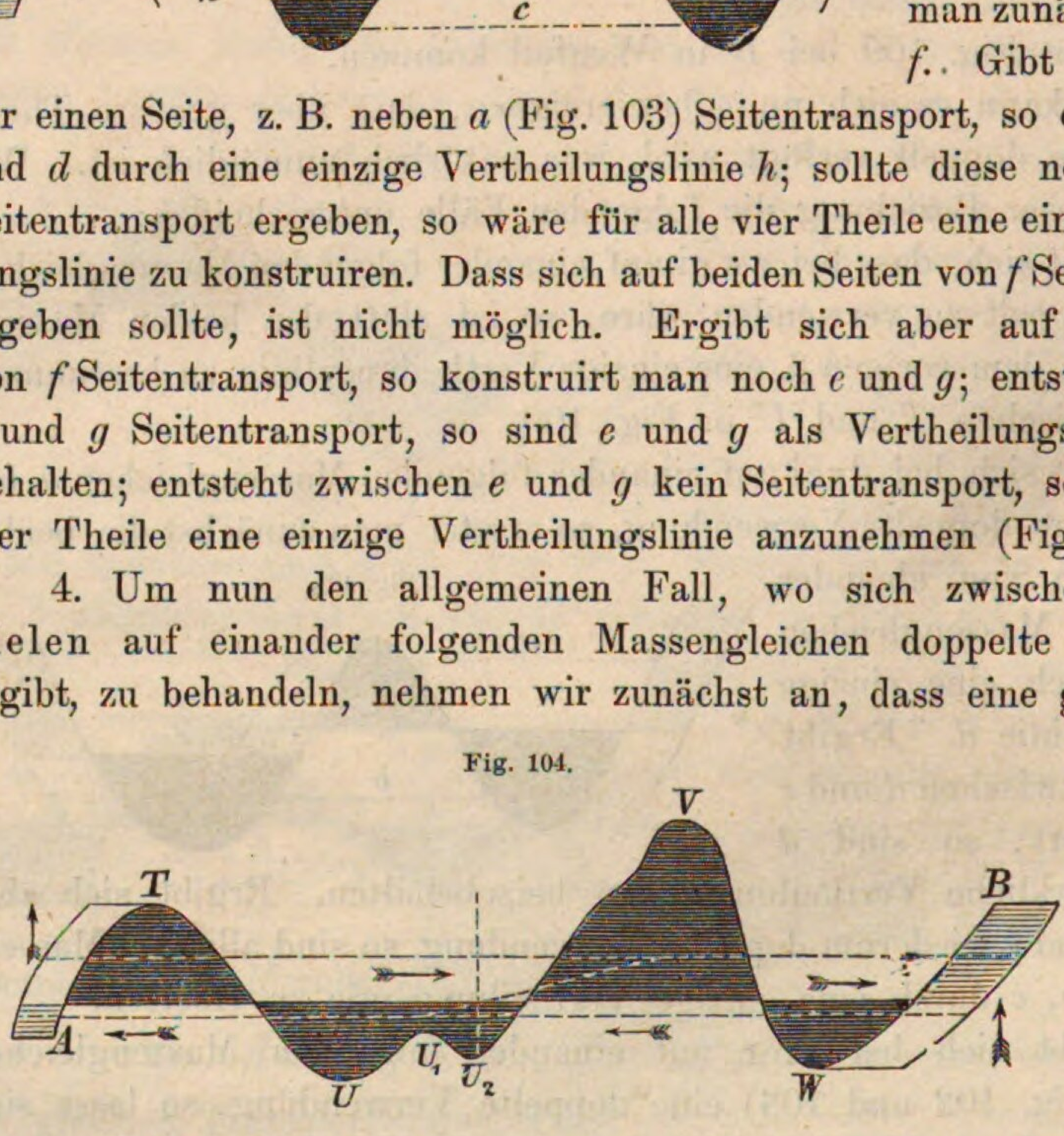
theilungslinien beizubehalten (Fig. 102). Ergibt sich aber auf einer Seite von f doppelte Verwendung, so ist nur eine der Massengleichen a und d beizubehalten und für die drei anderen eine einzige Vertheilungslinie zu bestimmen. b. Die Verlängerungen von a und d geben bei C Seitentransport (Fig. 103). Hier konstruirt man zunächst die Linie f.. Gibt dieselbe auf der einen Seite, z. B. neben a (Fig. 103) Seitentransport, so ersetzt man f und d durch eine einzige Vertheilungslinie h; sollte diese neben a keinen Seitentransport ergeben, so wäre für alle vier Theile eine einzige Vertheilungslinie zu konstruiren. Dass sich auf beiden Seiten von f Seitentransport ergeben sollte, ist nicht möglich. Ergibt sich aber auf keiner Seite von f Seitentransport, so konstruirt man noch e und g; entsteht zwischen e und g Seitentransport, so sind e und g als Vertheilungslinien beizubehalten; entsteht zwischen e und g kein Seitentransport, so ist für alle vier Theile eine einzige Vertheilungslinie anzunehmen (Fig. 104).

Fig. 103.



4. Um nun den allgemeinen Fall, wo sich zwischen beliebig vielen auf einander folgenden Massengleichen doppelte Verwendung ergibt, zu behandeln, nehmen wir zunächst an, dass eine gemeinschaftliche Vertheilungslinie (Fig. 104) für beliebig viele Uebergangspunkte mit dem Minimum der Kosten zu bestimmen sei. Bezeichnet man für diesen Fall die Breiten der Berge mit b, die der Thäler mit b' (Berge und Thäler in Beziehung auf die Form des Vertheilungsprofiles gemeint) und behalten wir im Uebrigen die Bezeichnungen des vorigen §. bei, so wird, wenn man die Vertheilungslinie um dy verschiebt, $dK = (\pm \beta_1 b_1 + \Sigma \alpha + \Sigma \beta b - \Sigma \alpha' - \Sigma \beta' b' \pm \beta_2 b_2)\, dy$, folglich K zum Minimum für

Fig. 104.



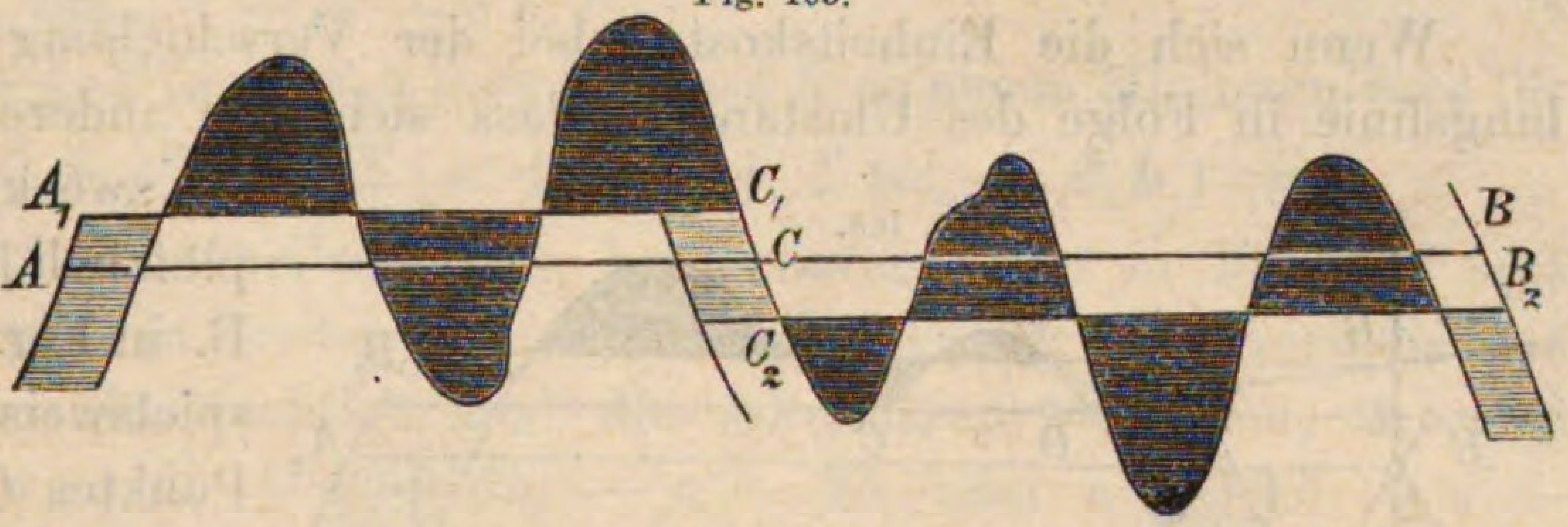
$$27. \quad \pm \beta_1 b_1 + \Sigma \alpha + \Sigma \beta b - \Sigma \alpha' - \Sigma \beta' b' \pm \beta_2 b_2 = o.$$

Was die Vorzeichen anlangt, so ist lediglich zu beachten, dass diejenigen Theile, welche sich bei einer Verschiebung der Vertheilungslinie vergrössern und vermindern, mit entgegengesetzten Vorzeichen ein-

zuführen sind. Diese Regel lässt sich auch aussprechen: Die Kosten der Volumeneinheit sollen auf die Längen der Berge und Thäler gleich sein. Die Quertransporte sind als Berg oder Thal zu nehmen, je nachdem die Nachbarsektion bezüglich ein Thal oder Berg ist.

Nehmen wir nun an, es liessen sich zwei Vertheilungslinien A_1C_1, B_2C_2 mit zwischenliegendem Seitentransporte, jede für das Minimum der Kosten konstruiren. In diesem Fall vermindern sich die Kosten auf der linken Seite, wenn man die Vertheilungslinie von AC nach A_1C_1 verschiebt, auf der rechten Seite,

Fig. 105.



wenn man die Vertheilungslinie von BC nach B_2C_2 verschiebt. Somit müssen die Kosten für die Vertheilungslinien A_1C_1, B_2C_2 kleiner sein als für die Vertheilungslinie AB oder: Die Kosten für zwei Vertheilungslinien mit zwischenliegendem Seitentransporte sind geringer, als für eine Vertheilungslinie.

Die Kosten werden abermals geringer, wenn eine oder jede der Vertheilungslinien A_1C_1, B_2C_2 wieder durch zwei Vertheilungslinien zu ersetzen sind, oder: Die Kosten werden um so geringer, jemehr sich einzelne Vertheilungslinien mit zwischenliegendem Seitentransporte konstruiren lassen.

Um nun diejenige Anordnung zu finden, für welche wirklich das Minimum der Kosten eintritt, kann man in verschiedener Weise vorgehen. Wir geben folgende Methoden:

a. Wenn man wenig Stellen mit Quertransport vermuthet, so ersetzt man diejenigen Massengleichen, welche keinen Seitentransport zwischen sich lassen, am besten zunächst durch eine einzige Vertheilungslinie. Man untersucht nun, ob sich für einen der Dämme oder Einschnitte Seitentransport ergibt. Sollte dies der Fall sein, so untersucht man abermals, ob sich die beiden entsprechenden Vertheilungslinien durch zwei andere ersetzen lassen u. s. f.

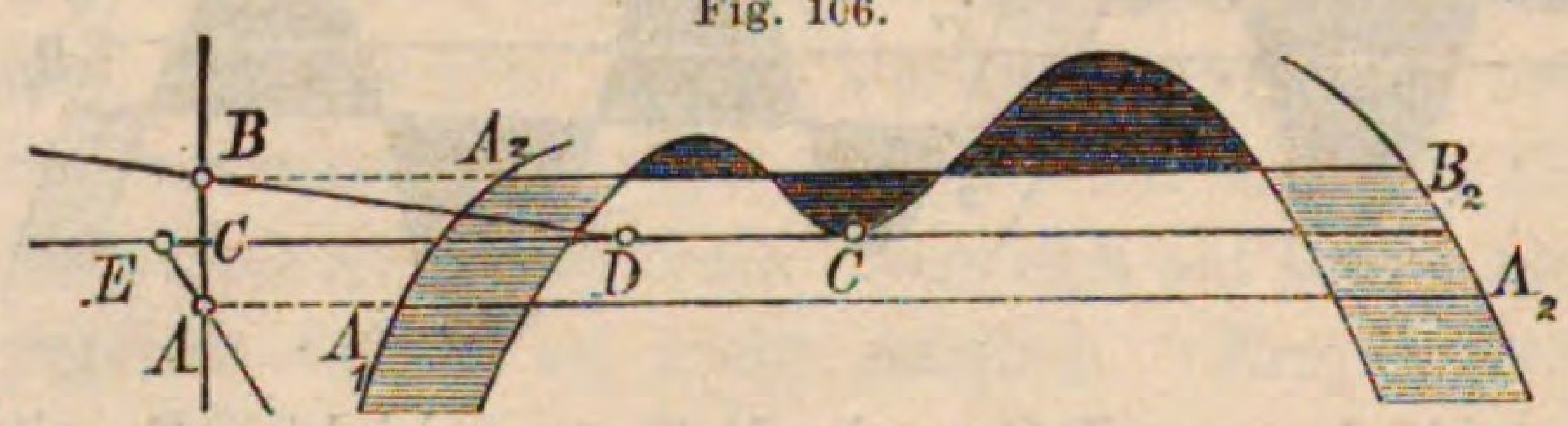
b. Sollten dagegen viele Stellen mit Seitentransport zu erwarten sein, so ist es besser, zunächst je zwei Massengleichen durch eine Vertheilungslinie zu ersetzen, indem man für sämmtliche Dämme die Anfuhrlinien und für sämmtliche Einschnitte die Verwendungslinien konstruirt. Zwischen den Stellen, für welche diese Linien Seitentransport ergeben, versucht man jetzt einen Ausgleich durch eine einzige Vertheilungslinie. Hierbei kann allerdings der Fall eintreten, dass wiederum über

gewisses Material doppelt verfügt wird, dass man also wieder eine neue gemeinschaftliche Vertheilungslinie konstruiren muss. Dieses Verfahren wurde von Launhardt angegeben; derselbe nennt den die schliesslich anzuwendenden Vertheilungslinien enthaltenden Linienzug die Massentrasse.

Es können hierbei allerdings unter Umständen verschiedene Anordnungen als die relativ besten entstehen. Alsdann hat man durch die wirkliche Kostenbestimmung für diese Anordnungen die absolut beste zu ermitteln.

Wenn sich die Einheitskosten bei der Verschiebung der Vertheilungslinie in Folge des Umstandes, dass sich eine andere Transportart als zweckmässig ergibt, plötzlich ändern, wie z. B. in Fig. 106, wo beispielsweise unterhalb des Punktes C Kippkarren, oberhalb desselben Schubkarrentransport anzuwenden wäre, so kann man durch die Bedingung 27 zwei verschiedene Vertheilungslinien a und b erhalten. Hier muss ebenfalls die Bestimmung der Kosten zwischen beiden Anordnungen entscheiden. Es ergibt sich leicht, dass die Kosten für die Vertheilungslinie c um ΔACD grösser sind, als für die Vertheilungslinie a und um ΔCEB grösser, als für die Vertheilungslinie b, falls die Ordinaten der Linien AD, BE den Differenzialquotienten der Kosten darstellen. Daher wird die Vertheilungslinie durch denjenigen der beiden Punkte A und B zu legen sein, an welchen sich das grössere der Dreiecke ACD und CEB anschliesst, in Fig. 106 also z. B. durch den Punkt B.

Fig. 106.

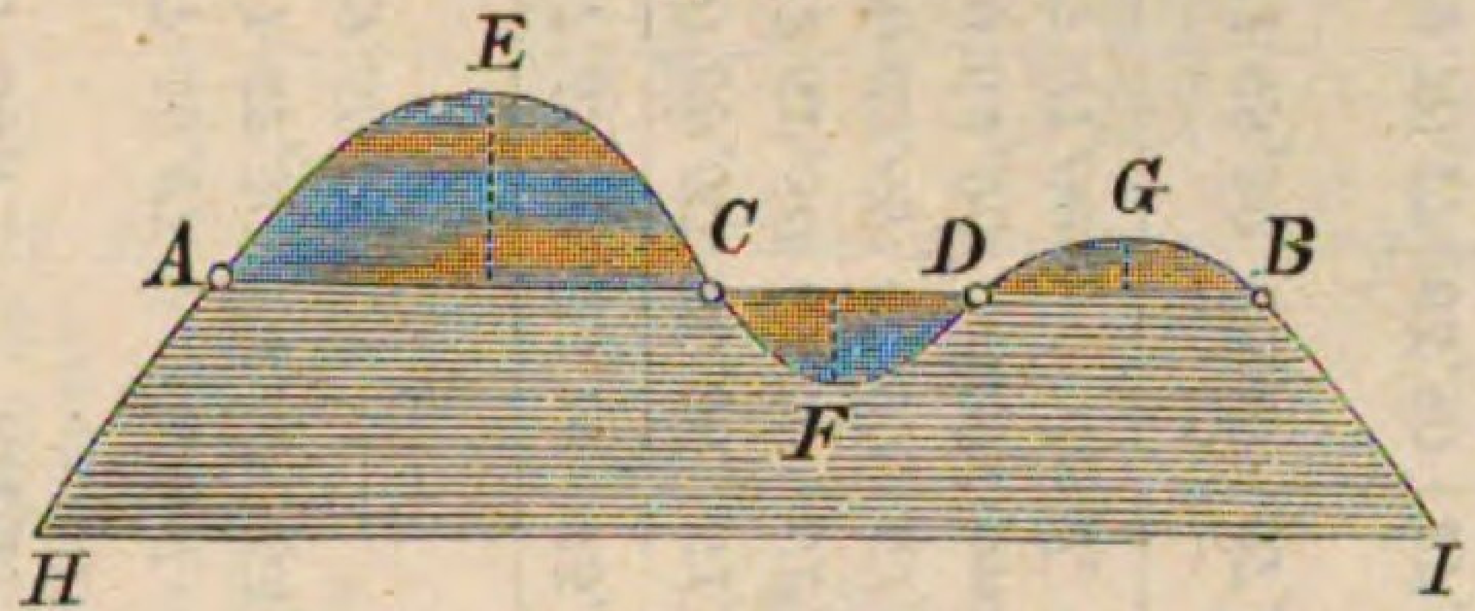


Wie bereits in §. 95 bemerkt, kann es bei hohen Dämmen rathsam sein, nur den unteren Theil aus Seitenentnahme zu schütten. Bei kurzen Transportweiten und wenn für Seitenentnahmen das Terrain wenig geeignet ist, kann auch eine Verbreiterung der Einschnitte, um hierdurch mehr Material zu gewinnen, zweckmässig sein. Auf eine allgemeine Behandlung dieser Fälle wollen wir verzichten, indem wir uns darauf beschränken, die Behandlung an einem Beispiele (§. 103) zu zeigen.

§. 102. Vertheilungslinien zweiter Ordnung. Wenn an einer Stelle Uebergangspunkte in kurzen Entfernungen auf einander folgen, so kann der Fall eintreten, dass eine sekundäre Vertheilungslinie oder Vertheilungslinie zweiter Ordnung zweckmässig ist, bei welcher einzelne Flächen zweien verschiedenen Transportmomenten angehören. So wird z. B. in Fig. 107 der Abtrag BI für den Auftrag AH, die Abträge CE, CF, BG bezüglich für die Aufträge AE, DF, DG zu verwenden sein, so dass die Fläche CFD das Transportmoment für die

Masse CF darstellt, während dieselbe gleichzeitig dem Transportmomente $ABIH$ angehört. Wir können hier $ABIH$ die Hauptsektion, AEC, CFD, DCB sekundäre Sektionen nennen. Bezeichnen wir die Breiten der Berge und Thäler in der Linie AB mit b, b_1, die ganze Länge AB mit b', so verändern sich die Kosten, wenn man die Vertheilungslinie um dy verschiebt, um $dK = [\alpha' + \beta' b' - \Sigma(\alpha + \beta b) + \Sigma(\alpha_1 + \beta_1 b_1)]\, dy$, so dass K zu einem Minimum wird für

Fig. 107.



28. $$\alpha' + \beta' b' - \Sigma(\alpha + \beta b) + \Sigma(\alpha_1 + \beta_1 b_1) = o.$$

Besteht die Vertheilungslinie beispielsweise wie in Fig. 107 aus drei Theilen mit den Breiten b, b_1, b_2 und bestehen nur zwei verschiedene Preise für die Hauptsektion und die sekundären Sektionen, so wird $\alpha' + \beta' b' - \alpha - \beta b + \alpha + \beta b_1 - \alpha - \beta b_2$ oder $\alpha' + \beta' b' - \alpha - \beta(b - b_1 + b_2) = o$. Ist der Preis für Haupt- und sekundäre Sektionen derselbe, so wird $b' - b + b_1 - b_2 = o$, oder, da $b' - b - b_1 - b_2 = o$ ist, $b_1 = o$, d. h. die sekundäre Vertheilungslinie muss durch den tiefsten Punkt F gehen.

Die Bestimmung der Vertheilungslinien für die Hauptsektionen wird durch die sekundären Vertheilungslinien nicht beeinflusst.

§. 103. Grafische und tabellarische Zusammenstellung. Die Darstellung und Beschreibung des Massen- und Vertheilungsprofiles muss so erfolgen, dass alle Details der Massendisposition daraus zu erkennen sind (siehe Taf. IV.) Man kann hierbei im Massenprofile die Aufträge roth, die Abträge gelb, im Vertheilungsprofile den Längentransport etwa blau, den Quertransport grün anlegen. Man kann aber auch im Massenprofile alle zusammengehörigen Auf- und Abträge mit gleicher Farbe anlegen; mit derselben Farbe würde alsdann die entsprechende Fläche im Vertheilungsprofile anzulegen sein. Die Seitenentnahmen und Seitenablagerungen würden hierbei mit zwei bestimmten, sonst nicht wieder anzuwendenden Farben anzulegen sein.

Alle auf die Vertheilung Bezug habenden Grössen werden tabellarisch zusammengestellt. Wir geben auf folgender Seite mit Beziehung auf das auf Taf. I bis IV dargestellte Beispiel ein Schema zu dieser Zusammenstellung. Wenn man die Kostenberechnung einer Tabelle für die Preise bei verschiedenen Steigungen zu Grunde legt, so können die Rubriken für das reducirte Transportmoment und die reducirte Transportweite wegfallen.

Bestimmt man die Transportmomente nicht in grafischer Weise, sondern ermittelt man die mittlere Transportweite direkt durch Bestimmung

Massenvertheilungs-Tabelle.

Sektion	Abtrag von	Abtrag bis	Auftrag von	Auftrag bis	Gebirgsart	Bodenklasse.	Transportweise	Volumen	Transportmoment wirklich	Transportmoment reducirt	Transportweite wirklich	Transportweite reducirt	Reduktionskoefficient	Bemerkungen.
24 a	48,21	52,90	45,25	48,21	Lehmig. Sand	II	Kippkarren	10835	4127800	3554100	381,0	328,0	0,86	Bergab.
24 b	45,15	48,21	Seitentranspt		Dammerde	II	Schubkarren	3770	62510	170027	16,6	45,1	2,72	Seitenentnahme.
24 c	48,21	52,90	dsgl.		desgl.	II	desgl.	4413	139500	379500	31,6	86,0	2,72	Seitenablagerung als Schneedamm.
25 a	56,61	59,27	52,90	56,61	Gerölle	III	Kippkarren	12454	3902500	3246800	313,4	260,7	0,83	Bergab.
25 b			53,54		desgl.	III	desgl.	—	31480	31480	26,6	26,6	—	1180 km Zuschlag für die Rampe.
25 c			53,80		desgl.	III	desgl.	—	4270	4270	11,0	11,0	—	388 km Zuschlag für das Wächterhausbankett.
25 d	52,59	56,68	Seitentransp.		Dammerde	II	Handwurf	97	121	121	1,3	1,3	—	Fussgraben uud Fundamentgraben.
25 e	56,37	56,72	desgl.		desgl.	II	desgl.	40	288	288	7,2	7,2	—	Am Uebergange zwischen Auf- und Abtrag.
25 f	56,37	59,27	desgl.		desgl.	II	desgl.	14	8	8	0,6	0,6	—	Am Saumgraben.
25 g	56,91	57,39	54,50	55,11	Granitfels	VI	Steinkarren	730	172497	143200	239,0	186,3	0,83	Bergab.
25 h	57,39	59,64	—		desgl.	VI	desgl.	3704	—	—	—	—	—	Zur weiteren Verwendung deponirt.
26	59,27	59,50	45,16	45,25	Gerölle	III	Kippkarren	620	874200	735600	1410,0	193,4	0,84	Bergab.
27 a	59,50	60,50	60,50	61,30	Gerölle	III	Schubkarren	352	28700	34600	81,5	98,3	1,20	Bergauf.
27 b	62,13	62,80	61,30	62,13	desgl.	III	desgl.	459	39250	34930	85,5	76,1	0,89	Bergab.
27 c	62,80	63,69	63,69	64,40	desgl.	III	desgl.	565	54200	65100	95,9	115,2	1,20	Bergauf.
27 d	59,70	64,20	Seitentransp.		desgl.	III	desgl.	3062	223500	223500	7,3	7,3	1,00	Anschnitt.
27 e	59,27	61,00	desgl.		Dammerde	IV	Handwurf	78	234	234	3,0	3,0	—	Saumgraben.
28 a	67,21	69,32	64,40	67,21	Mergel	IV	Interimsbahn, durch Menschen	14478 {	32990	26390	227,8	182,3	0,80	Tunnelmaterial. (Bergab.)
									3352800	2011700	245,4	139,0	0,60	Einschnittmaterial. (Bergab.)
28 b	69,32	70,17	65,80	67,21	desgl.	IV		4982 {	747300	597800	150,0	119,7	0,80	} Ablagerung des Tunnelmaterials. (Bergab.)
									919700	551800	184,6	110,8	0,60	
								60653	14713840	11731510	242,5	193,4	0,80	Summe und Mittel.

oder Abschätzung der Schwerpunkte, so bleiben die Rubriken für die Transportmomente weg. In diesem Falle ist es zweckmässig, die Tabelle so einzurichten, dass aus derselben die specielle Vertheilungsweise möglichst klar hervorgeht, obwohl dies nicht in dem Maasse zu erreichen ist, wie durch das Massen- und Vertheilungsprofil. Wir geben in nebenstehender Tabelle ein der „praktischen Anleitung zum Erdbau von Henz III. Auflage von Streckert, 1874“ entlehntes Schema, dessen Einrichtung ohne weitere Erklärung erkannt werden wird.

Beispiel: Wir haben auf Taf. IV ein Beispiel für eine Massenvertheilung durchgeführt, deren mittlerer Theil dem auf Taf. I bis III dargestellten Beispiele angehört. Die Vertheilung ist hier bei Station *45,20* durch eine Brücke, bei Station *70,18* durch einen Tunnel begrenzt.

Nach der Darstellung des Vertheilungs-

Dispositions-Register

der Massenvertheilung und der Bewegungen.

Abtrag			Auftrag			Vertheilung					Entfernung der Schwerpunkte des Auf- u. Abtr.			Ueberflüssiges Material						Fehlendes Material						Bemerkungen
Station von Nr.	Station bis Nr.	Kubikmeter	Station von Nr.	Station bis Nr.	Kubikmeter	aus dem Abtrage Nr.	aus dem Abtrage Nr.	aus dem Auftrage Nr.	aus dem Auftrage Nr.	Kubikmeter	Horizontal	Vertikal	Reducirt	Kubikmeter	Seitwärts auszusetzen von Nr.	Seitwärts auszusetzen bis Nr.	Entfernung der Schwerpunkte Horizontal	Vertikal	Reduc.	Kubikmeter	Seitwärts zu gewinnen von Nr.	Seitwärts zu gewinnen bis Nr.	Entfernung der Schwerpunkte Horizontal	Vertikal	Reducirt	
—	—	—	63,0	67,2	3596	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2336	67,2	67,7	246	—	246	
			—	—	—	67,2	67,7	66,0	67,1	1260	93	—	93													
67,2	69,1	6561	—	—	—	67,5	67,8	67,1	67,6	507	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Seitenaussatz zur Bildung von Schneedämmen
			—	—	—	67,8	68,5	69,9	69,1	950	—	—	—	507	67,2	67,6	37	—	—	—	—	—	—	—	—	
			—	—	—	67,7	69,1	69,1	71,4	3844	196	—	196	950	67,9	69,1	54	—	—	—	—	—	—	—	—	
			69,1	75,0	7351						—	—	—							1500	67,7	68,9	439	—	439	
71,0	75,0	411	—	—	—	71,0	75,0	71,0	75,0	411	0	—	0	—	—	—	—	—	—	1596	67,9	69,0	410	—	410	
		6972			10947															3096						
		3975												—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Ohne anderen Transport als Schaufelwurf.
		10947												1457						5432						
																				1457						
																				3975						

profiles wurden die Ablagerungs- und Entnahmslinien (braun) eingetragen. Hierzu wurden zunächst die Querprofile für die Seitenentnahmen und Seitenablagerungen nach §. 92 bestimmt. Es wurde hierbei angenommen: Grundeinlösung pro □^{m} *0,10*, Gewinnung pro Kubikmt. *0,12*, Transport durch Schubkarren pro Kubikmt. *0,0012* $l\,(1 + 13\,s + 325\,s^2) + 0{,}06$, Planirung pro □Met. *0,01 Gulden*. Nur für die Seitenablagerung des Tunnelmateriales wurde Transport auf einer Interimsbahn durch Menschen im Preise von $0{,}00030\,l\,(0{,}12 - 38\,s - 83\,s^2) + 0{,}30$ *Gulden* im Tunnel und von $0{,}00027\,l\,(0{,}32 - 38\,s - 83\,s^2) + 0{,}23$ *Gulden* zu Tage angenommen. Der starke Sprung bei Station *57,75* rührt daher, weil die Ablagerung vor diesem Punkte thalwärts, hinter demselben der Gärten und Häuser wegen aber bergwärts anzunehmen war.

Bei der Ermittlung der Vertheilungslinien wurde in den kürzeren Sektionen bis zu etwa *250 Met.* Weite Schubkarrentransport pro 1 Kubikmet. zu $0{,}0012\,l\,(1 + 13\,s + 325\,s^2) + 0{,}06$ *Guld.* für Bergtransport, zu $0{,}0012\,l\,(1 + 9\,s + 106\,s^2) + 0{,}06$ *Guld.* für Thaltransport, in den längeren Sektionen bis zu *500 Met.* Weite Kippkarrentransport pro 1 Kubikmet. zu $0{,}00037\,l\,(1 + 20\,s + 350\,s^2) + 0{,}11$ *Guld.* und nur für den Transport aus dem Tunnel und dessen Voreinschnitt Transport auf einer Interimsbahn durch Menschen zu obigem Preise angenommen.

Zunächst wurden nun die Massengleichen für die einzelnen Uebergangspunkte nach §. 99 bestimmt. Dieselben sind braun eingezeichnet und mit den betreffenden Nummern der Uebergangspunkte versehen. Keine dieser Massengleichen kann indess als Vertheilungslinie beibehalten werden, weil bei sämmtlichen über Material doppelt verfügt wurde. Für die Kombinationen I und II, III bis VI, sowie II und III, IV bis VII ergeben sich die punktirt angegebenen Vertheilungslinien, bei denen sich wiederum kein Seitentransport ergibt. Sonach erscheint eine einzige Vertheilungslinie für sämmtliche Sektionen als zweckmässig. Zur Konstruktion derselben wurde der Differenzialquotient *D* der Kosten für die vier Vertheilungslinien *a, b, c, d* bestimmt. Beispielsweise berechnet sich *D* für die Vertheilungslinie *c* wie folgt:

Bezeichnung der Sektion		*Neigung*	*Ansatz*	+	—
Seitenentnahme		—	+ 350 · 0,0012	0,420	—
Uebergangspunkt I . . .		— 0,008	— 403 · 0,00032	—	0,129
		— 0,011	— 185 · 0,00030	—	0,056
			Hierzu	—	0,110
Uebergangspunkt II . . .		+ 0,011	+ 172 · 0,0014	0,241	—
			Hierzu	0,060	—
Uebergangspunkt III . .		— 0,011	— 240 · 0,00030	—	0,072
		— 0,010	— 287 · 0,00031	—	0,089
			Hierzu	—	0,110
Uebergangspunkt IV—VI		+ 0,010	+ 60 · 0,00046	0,028	—
		+ 0,012	+ 560 · 0,00048	0,269	—
			Hierzu	0,110	—
Uebergangsp. VII	*Tunnel*	— 0,012	— 80 · 0,00017	—	0,050
	Einschnitt	— 0,012	— 330 · 0,00015	—	0,014
			Hierzu	—	0,023
Seitenablagerung		—	+ 423 · 0,00017	0,072	
			Summe D =	+ 1,200	— 0,653
				= + 0,547	

In gleicher Weise ergibt sich für die einzelnen Vertheilungslinien: für *a*: $D = -0{,}070$, für *b*: $D = +0{,}867$ und $+0{,}380$, für *c*: $D = +0{,}547$, für *d*: $D = +0{,}759$. Dass sich für *b* zwei Werthe ergeben, hat seinen Grund darin, dass für die Uebergangspunkte IV bis VI für eine über *b* liegende Vertheilungslinie Schubkarrentransport in drei Sektionen, für eine unter *b* liegende dagegen nur Kippkarrentransport in einer Sektion in Frage kommt. Als die zweckmässigste Vertheilungslinie ergibt sich hiernach durch Konstruktion die Gerade *XX* (braun).

Statt der Seitenentnahme zwischen Station *45,15* und *45,72* (Fig. 108) sind noch andere Dispositionen möglich. Wir wollen noch die beiden folgenden Dispositionen untersuchen:

1. Vertheilung der Seitenentnahme auf die ganze Länge des Auftrages (Fig. 109). Nimmt man irgend welche Vertheilungslinie an, so ist hiermit die Grösse der Seitenentnahme gegeben; nimmt man beispielsweise die Vertheilungslinie *c* an, so wird die Seitenentnahme $= 4400 + 1270 = 5670$, während der

Fig. 108.

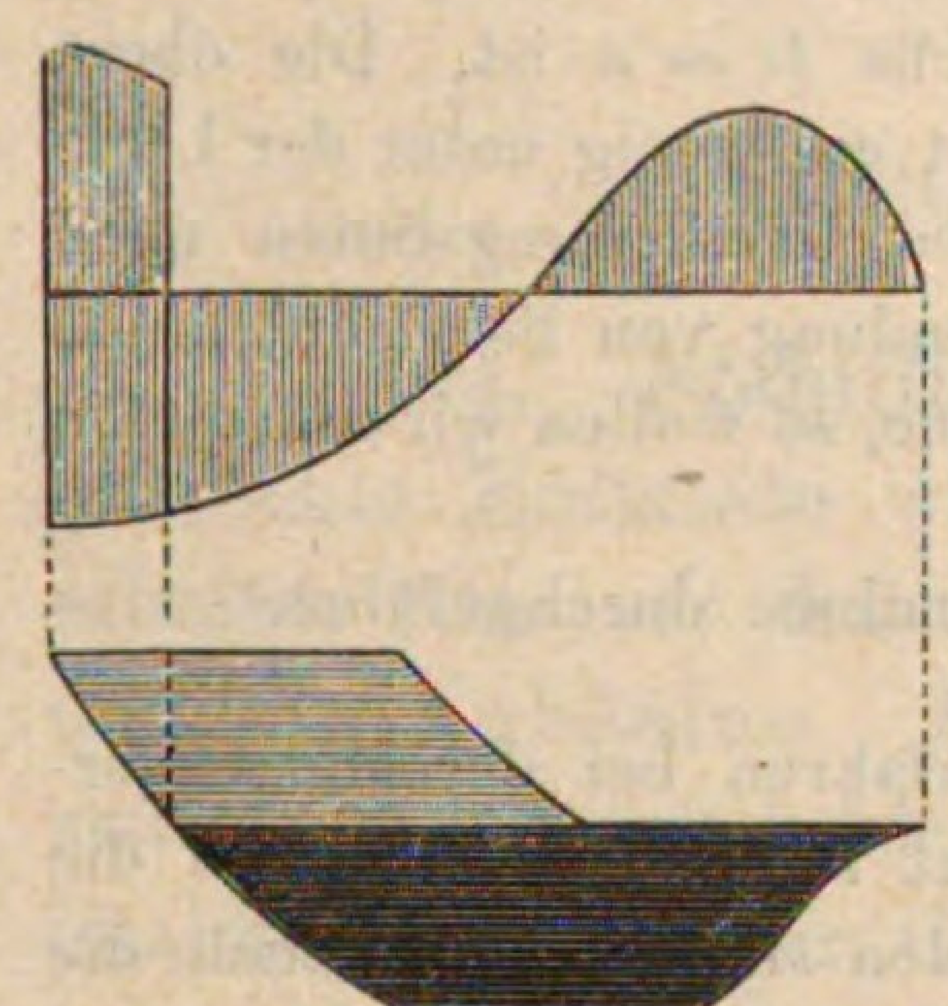


Fig. 109.

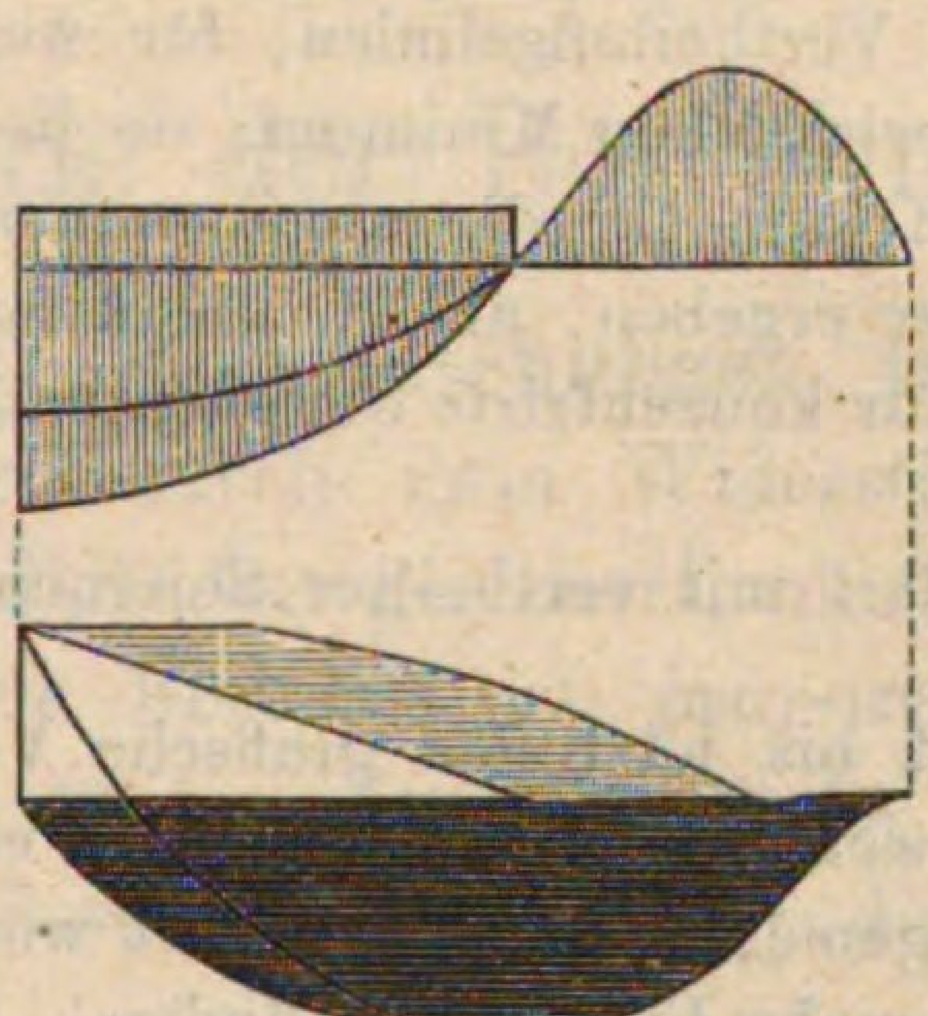
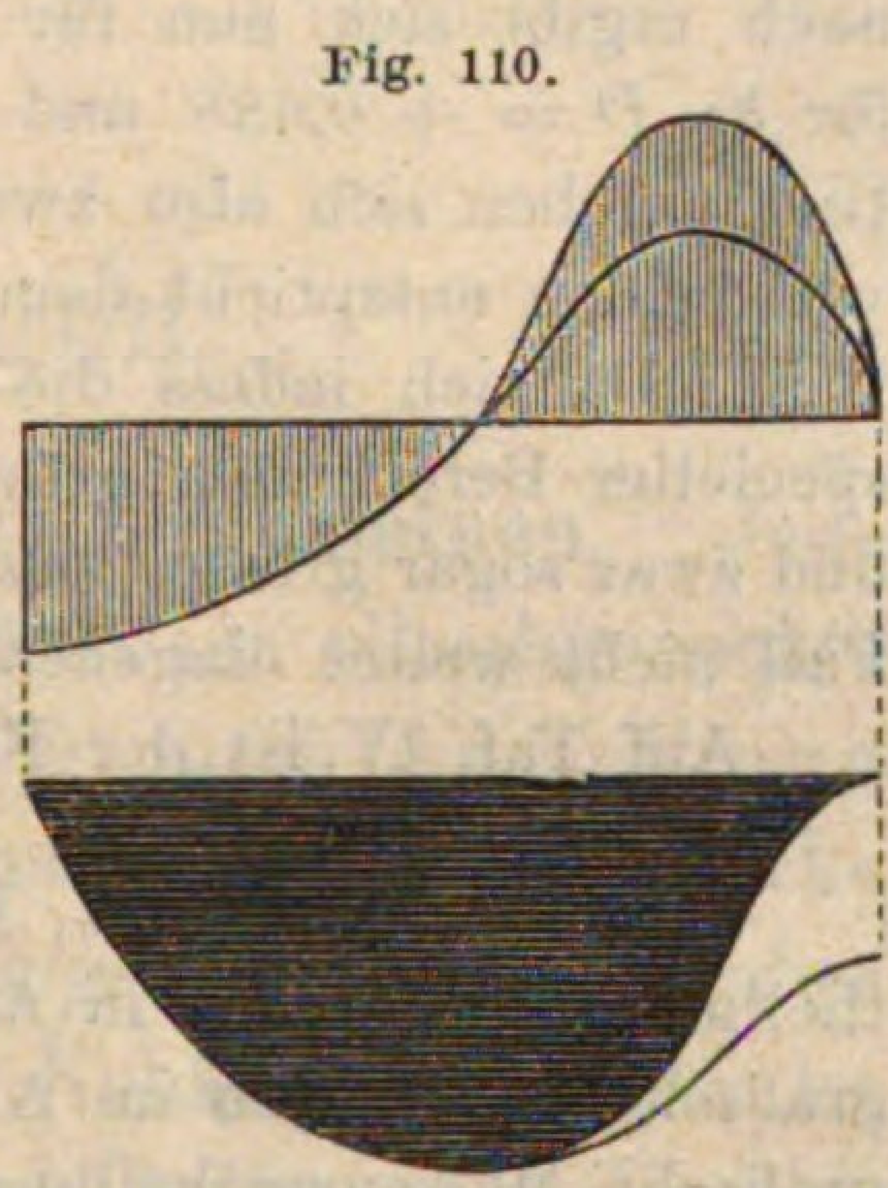


Fig. 110.



ganze Damm *14605* erfordert, so dass *0,388* des ganzen Dammes durch Seitenentnahme zu decken wäre. Wird der ganze Damm durch Seitenentnahme hergestellt, so wird durchschnittlich die reducirte Transportweite (im Sinne des §. 98) $\lambda = 340$; wird dagegen nur die untere, ganz niedere Schicht des Dammes durch Seitenentnahme hergestellt, so ergibt sich $\lambda = 106$. Man kann demnach für die Deckung von *0,388* des Dammes durch Seitenentnahme annähernd $\lambda = 106 + (340 - 106) \,.\, 0{,}388 = 106 + 91 = 197$ setzen. Allgemein wäre bei der Seitenentnahme y annähernd $\lambda = 106 + \frac{234\,y}{14605} = 106 + 0{,}016y$, also das Transportmoment $= y\,(106 + 0{,}016y)$ und die Kosten $= 0{,}0012y\,(106 + 0{,}016y) = 0{,}127y + 0{,}0000192y^2$. Der Differenzialquotient der Kosten der Seitenentnahme ist daher $0{,}127 + 0{,}0000384y$.

Würde der ganze Damm von 14605^{km} aus dem Einschnitte geschüttet, so wären die Transportkosten vom Uebergangspunkte aus gerechnet, nach specieller Berechnung $= 2709600 \,.\, 0{,}00032 = 867$. Da aber das Volumen y aus Seitenentnahme geschüttet wird, so sind die Kosten des Längentransportes vom Uebergangspunkte aus nahezu $= 867\,\frac{14605 - y}{14605} = 867 - 0{,}0594y$. Der entsprechende Differenzialquotient ist $= -0{,}0594$.

Im Uebrigen bleibt Alles wie früher. Hiernach ergibt sich nun für die einzelnen Vertheilungslinien: für *a*: $D = -0{,}216$, für *b*: $D = +0{,}758$ und $+0{,}261$, für *c*: $D = +0{,}483$, für *d*: $D = +0{,}747$. Die hiernach bestimmte zweckmässigste Vertheilungslinie liegt ein wenig tiefer, als im vorigen Falle.

Die Kosten selbst stellen sich bei dieser Disposition für jede Vertheilungslinie

geringer heraus, als bei der vorher angenommenen Koncentrirung der Seitenentnahme auf das Ende.

2. Verbreiterung des Einschnittes. Wir wollen jetzt annehmen, dass das für den Damm fehlende Material durch eine Verbreiterung des Einschnittes zu gewinnen sei (Fig. 110). Durch specielle Berechnung ergibt sich, dass, wenn man den Einschnitt um *b Met.* breiter hält, *764b Kubikmet.* gewonnen werden; die hierbei eintretende Vergrösserung der Grundfläche ist *469 b* □*Met.* Für eine Verbreiterung um *5 Met.* ist das Vertheilungsprofil durch die Linie *ff* (braun) dargestellt; hiernach ist es leicht möglich, für eine beliebige Vertheilungslinie das Vertheilungsprofil zu zeichnen. Indem man einzelne Vertheilungslinien wählt, erhält man die Kosten k bis zu Station *52,90* (höchster Punkt), wenn y die Bedeutung wie oben hat, für $y < 4400 : k = 4037 + 0{,}135\,y$, für $y > 4400 : k = 7589 - 1{,}147\,y + 0{,}000108\,y^2$ also für $y < 4400 : \frac{dk}{dy} = 0{,}135$, für $k > 4400 : \frac{dk}{dy} = -\,1{,}147 + 0{,}000216\,y$. Hiernach ergibt sich nun für die einzelnen Vertheilungslinien: für a: $D = -\,0{,}330$, für b: $D = +\,0{,}688$ und $-\,0{,}161$, für c: $D = +\,0{,}205$, für d: $D = +\,0{,}699$. Hier ergeben sich also zwei Vertheilungslinien, für welche $D = o$ ist. Die obere von beiden entspricht dem wirklichen Minimum; sie liegt ein wenig unter der Linie XX. Da sich indess die Kosten für die angenommenen Vertheilungslinien nach specieller Berechnung grösser ergeben, als für die Anwendung von Seitenentnahme und zwar sogar grösser, als für konzentrirte Seitenentnahme, so wollen wir auf diesen Fall nicht weiter eingehen.

Auf Taf. IV ist der Fall 1 mit vertheilter Seitenentnahme durchgeführt.

Soviel uns bekannt, ist bis jetzt das grafische Verfahren bei der Massenvertheilung noch wenig in Anwendung gekommen und erst in neuerer Zeit, wo die grafischen Verfahren im Allgemeinen mehr kultivirt worden sind, scheint auch die grafische Massenvertheilung mehr Eingang zu finden. Alle Ingenieure, denen nicht eine möglichst wissenschaftliche Behandlung überhaupt zuwider ist, werden auch hier die grafische Methode mit grossem Vortheile anwenden. Und auch dann, wenn aus praktischen Rücksichten, die sich nicht leicht einer mathemathischen Behandlung unterwerfen lassen, mancherlei Abweichungen nothwendig werden, wird die Durchführung der grafischen Methode eine Basis von nicht zu unterschätzendem Werthe für die Disposition gewähren.

VI. Abschnitt.

Konstruktion der Erdbauten.

VIII. Kapitel.

Theorie der Böschungen.

§. 104. Stabilität der Böschungen im Allgemeinen. Jede geböschte Erdmasse wird durch zwei Widerstände im Gleichgewichte erhalten oder vor dem Abgleiten gesichert, nämlich durch die Reibung und die Kohäsion. Die Reibung ist proportinal dem Normaldrucke zwischen den auf beiden Seiten der Gleitfläche liegenden Massen, aber unabhängig von der Grösse der Gleitfläche; die Kohäsion dagegen ist proportional der Grösse der Gleitfläche und unabhängig vom Drucke. Die Kohäsion ist dasselbe, was man bei den festen Körpern Schub- oder Scheerfestigkeit zu nennen pflegt. Als Kraft, welche diese Widerstände zu überwinden strebt, tritt das eigene Gewicht der Erdmasse und eine etwaige zufällige Belastung auf. Wir bezeichnen im Folgenden den Reibungskoefficient, d. i. die Reibung für den Normaldruck 1 mit f, den Reibungswinkel, d. i. denjenigen Winkel, dessen Tangente $= f$ ist, mit φ und den Kohäsionskoefficienten, d. i. die Kohäsion für die Gleitfläche 1, mit c.

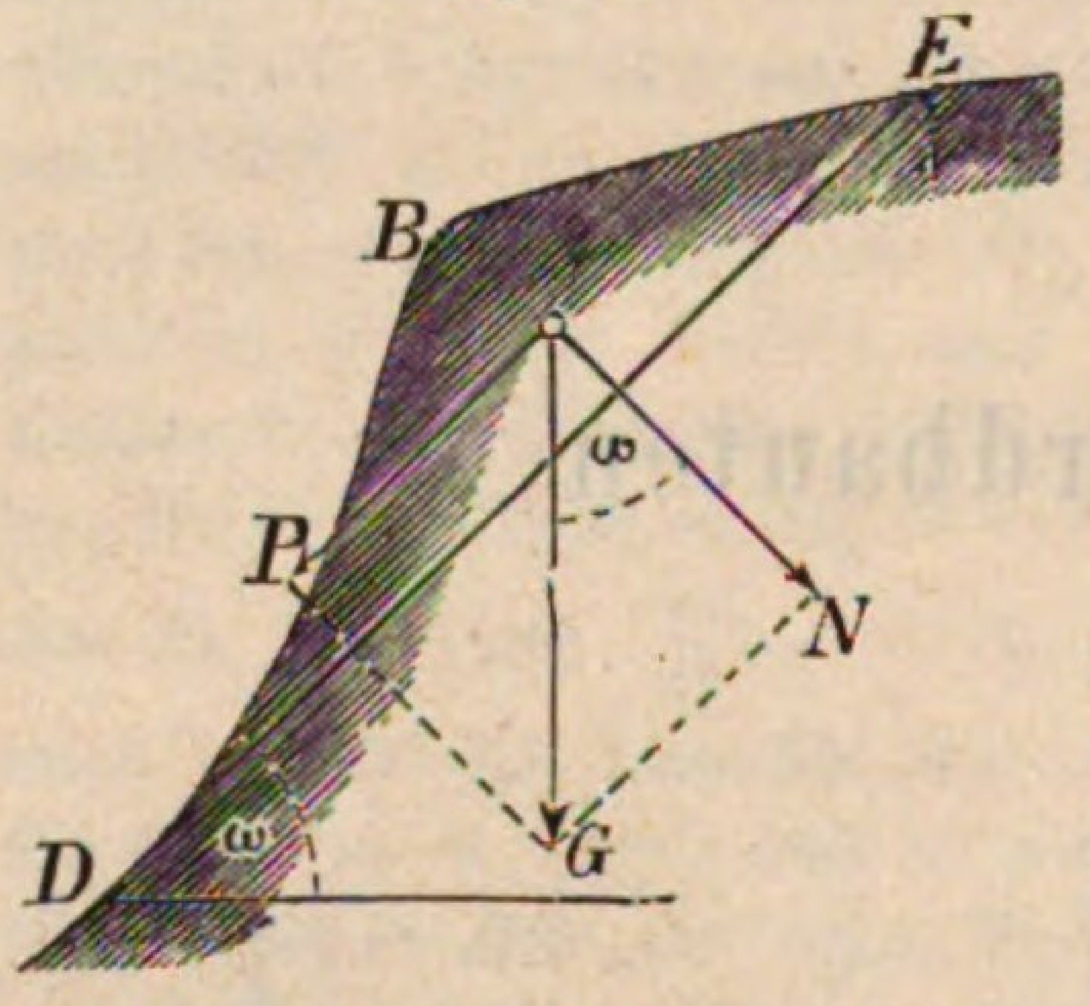
Die Fläche, in welcher die Trennung am leichtesten erfolgt, ist im Allgemeinen eine gekrümmte Fläche. Die Bestimmung derselben ist trotz der scheinbaren Einfachheit mit grossen Schwierigkeiten verknüpft, da die Differentialgleichungen, welche sich für den Erddruck im Innern der Erdmasse aufstellen lassen, im Allgemeinen schwer integrirbar sind. Wir wollen daher von einer genauen Theorie absehen und die Gleitfläche als Ebene annehmen.

Die Gleitfläche sei DF (Fig. 111). Das Gewicht des sich lösenden Prismas DBE sei für die Tiefe 1 der Böschung $= G$. Wir zerlegen G in zwei Komponenten, von denen die eine P parallel zu DE, die andere N senkrecht zu DE wirkt. Ist der Neigungswinkel der Trennungsfläche $= \omega$, so ist

$$1.\quad \begin{cases} \mathbf{P = G\ sin\ \omega}, \\ \mathbf{N = G\ cos\ \omega}. \end{cases}$$

Diese Kraft P strebt, das Prisma DBE längs DE zu verschieben. Die Kraft Q, welche sich dieser Verschiebung entgegensetzt, ist, wenn wir die Länge von $DE = l$ setzen,

Fig. 111.



$$2.\quad \mathbf{Q = Nf + lc.}$$

Damit ein Abrutschen nicht eintritt, muss $Q \geqq P$ sein. Es wird eben noch Gleichgewicht stattfinden, wenn $Q = P$ oder wenn

$$3.\quad \mathbf{\frac{Q}{P} = 1}$$

ist. Für jede andere durch D gelegte Ebene muss offenbar $Nf + lc > P$ oder $\frac{Q}{P} > 1$ sein, da sonst in dieser Ebene ein Abrutschen eintreten würde. Demnach wird für die Trennungsfläche $\frac{Nf + lc}{P}$ ein Minimum sein. Ist ein analytisches Minimum möglich, so wird also $\frac{d\frac{Q}{P}}{d\omega} = o$, d. i. $P\frac{dQ}{d\omega} - Q\frac{dP}{d\omega} = o$, oder $\frac{dQ}{dP} = \frac{Q}{P}$, d. i. nach Gleichung 3:

$$4.\quad \mathbf{\frac{dQ}{dP} = 1.}$$

Ist $\frac{Q}{P} = \frac{m}{n}$, so muss auch $\frac{d\frac{m}{n}}{d\omega} = 1$ sein, was in gleicher Weise zu der Bedingung $\frac{dm}{dn} = 1$ führt. In der Gleichung 4. können also auch für Q und P zwei andere Grössen gesetzt werden, welche zu einander dasselbe Verhältniss haben, wie Q und P.

Wir wollen dies nun auf einige specielle Fälle anwenden.

§. 105. Erde ohne Kohäsion. Wir setzen eine ebene Böschung mit dem Neigungswinkel α voraus. Da keine Kohäsion vorhanden ist, so wird $Q = Nf = Gf\,cos\,\omega$; mithin

$$\frac{P}{Q} = f\,cot\,\omega.$$

Mit wachsendem ω nimmt $cot\,\omega$ ab, so dass $\frac{P}{Q}$ zum wirklichen Minimum für den grössten Winkel wird, welchen ω annehmen kann, d. i. für $\omega = \alpha$. Also ist $\frac{P}{Q} = f\,cot\,\alpha$. Nach Gleichung 3 wird nun $f\,cot\,\alpha = 1$, $f = tan\,\alpha$, oder $tan\,\varphi = tan\,\alpha$, oder

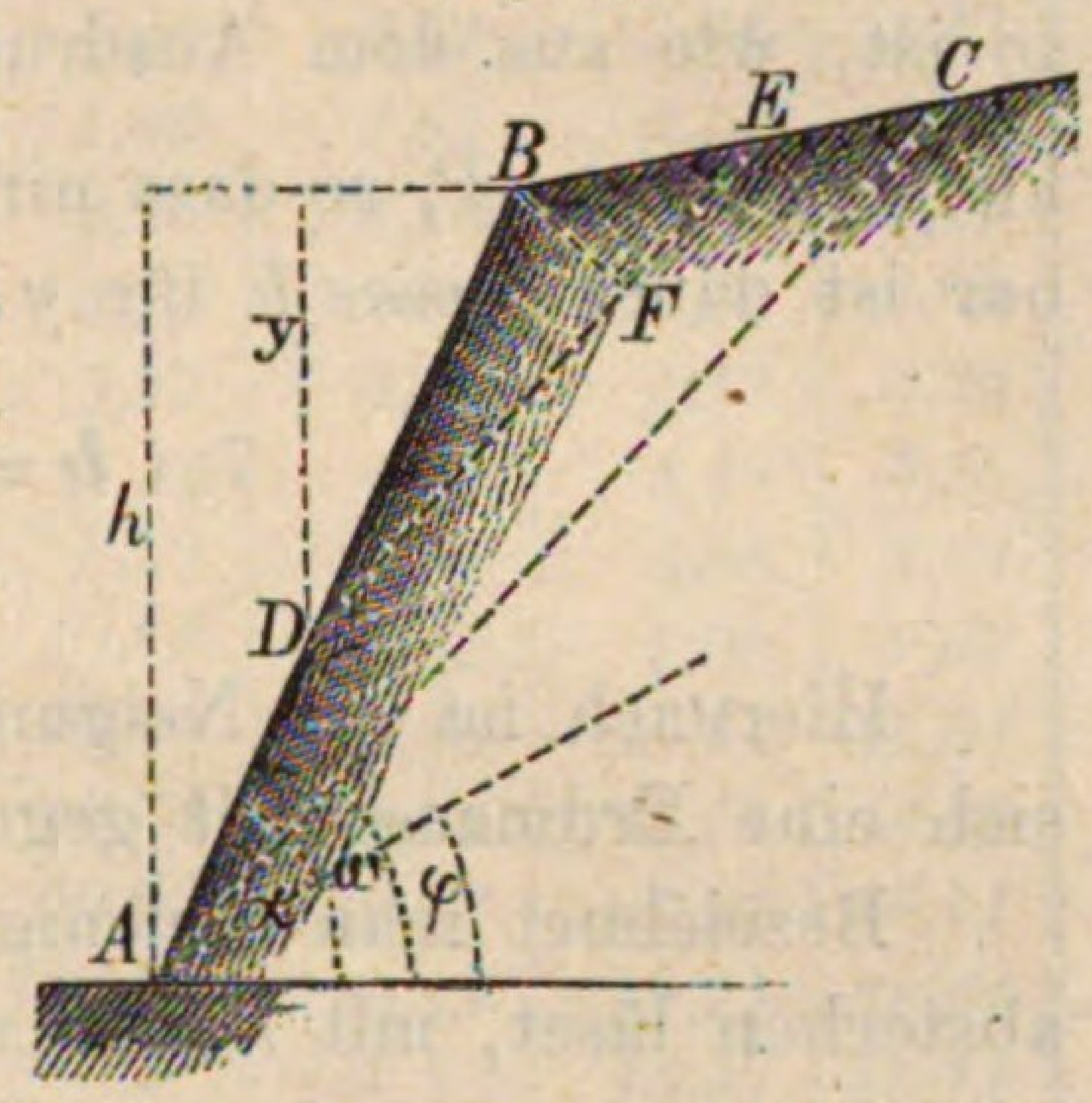
$$5.\quad \alpha = \varphi,$$

d. h. die Böschung darf höchstens unter dem Reibungswinkel geneigt sein.

Mann nennt den grössten Winkel, unter welchem eine Erdmasse ohne Kohäsion geneigt sein kann, den natürlichen Böschungswinkel.

§. 106. Erdmasse mit ebener Böschung und ebener Terrainfläche. Wir setzen eine durch einen beliebigen Punkt D (Fig. 112) der Böschungsfläche gehende Trennungsfläche DE voraus. Der vertikale Höhenunterschied der Punkte D und B sei y, der Neigungswinkel der Böschungsebene $AB = \alpha$. Alsdann ist $DB = y \operatorname{cosec} \alpha$, also die auf DE senkrechte Höhe des Dreiecks DBE d. i. $BF = DB \sin(\alpha - \omega) = y \operatorname{cosec} \alpha \sin(\alpha - \omega)$, mithin $\Delta DBE = \frac{1}{2} ly \operatorname{cosec} \alpha \sin(\alpha - \omega)$. Ist das Gewicht der Volumeneinheit $= \gamma$, so wird demnach

Fig. 112.



$$G = \frac{l y \gamma \sin(\alpha - \omega)}{2 \sin \alpha}.$$

Hiernach wird nun

$$\frac{Q}{P} = \frac{Gf \cos \omega + lc}{Gf \sin \alpha}$$

$$= \frac{\frac{1}{2} l y \gamma \tan \varphi \operatorname{cosec} \alpha \sin(\alpha - \omega) \cos \omega + lc}{\frac{1}{2} l y \gamma \operatorname{cosec} \alpha \sin(\alpha - \omega) \sin \omega}$$

$$= \frac{y \gamma \tan \varphi \sin(\alpha - \omega) \cos \omega + 2 c \sin \alpha}{y \gamma \sin(\alpha - \omega) \sin \omega}$$

$$\frac{dQ}{dP} = -\frac{\tan \varphi \left[\sin(\alpha - \omega) \sin \omega + \cos(\alpha - \omega) \cos \omega\right]}{\sin(\alpha - \omega) \cos \omega - \cos(\alpha - \omega) \sin \omega}$$

$$= \frac{\tan \varphi \cos(2\omega - \alpha)}{\sin(2\omega - \alpha)} = \tan \varphi \cot(2\omega - \alpha).$$

Nach der Bedingung 4. ist demnach $\tan \varphi \cot(2\omega - \alpha) = 1$ oder $\tan \varphi = \tan(2\omega - \alpha)$ oder $2\omega - \alpha = \varphi$, also

$$6. \quad \omega = \frac{\alpha + \varphi}{2},$$

d. h. die Trennungsfläche halbirt den Winkel zwischen der natürlichen und vorhandenen Böschung.

Setzt man nun ferner $\frac{Q}{P} = 1$, so ergibt sich, wenn man auf y reducirt:

$$y = \frac{2\,c\,sin\,\alpha}{\gamma\,sin\,(\alpha - \omega)\,(sin\,\omega - tan\,\varphi\,cos\,\omega)}$$

$$= \frac{2\,c\,sin\,\alpha\,cos\,\varphi}{\gamma\,sin\,(\alpha - \omega)\,sin\,(\omega - \varphi)}.$$

Nun aber wird $\alpha - \omega = \alpha - \frac{1}{2}(\alpha + \omega) = \frac{1}{2}(\alpha - \varphi)$ und $\omega - \varphi = \frac{1}{2}(\alpha - \varphi) - \varphi = \frac{1}{2}(\alpha - \varphi)$, mithin $y = \frac{2\,c\,sin\,\alpha\,cos\,\varphi}{\gamma\,sin^2\frac{1}{2}(\alpha - \varphi)}$. Gilt diese Beziehung für den unteren Punkt der Böschung für die Gesammthöhe h, so ist, wie aus dem Ausdrucke für $\frac{Q}{P}$ sofort zu ersehen ist, für jedes kleinere y $Q > P$, so dass nirgends ein Abrutschen eintreten kann. Offenbar ist daher dieses h für y einzusetzen, folglich

$$7.\quad \boldsymbol{h = \frac{2\,c\,sin\,\alpha\,cos\,\varphi}{\gamma\,sin^2\frac{1}{2}(\alpha - \varphi)}}.$$

Hiernach ist die Neigung des Terrains auf die Höhe, auf welcher sich eine Erdmasse mit gegebener Böschung erhält, ganz ohne Einfluss.

Bezeichnet man diejenige Höhe, auf welche sich die Erde vertikal abstechen lässt, mit h_0, so wird, wenn man $h = h_0$, $\alpha = 90^0$ setzt,

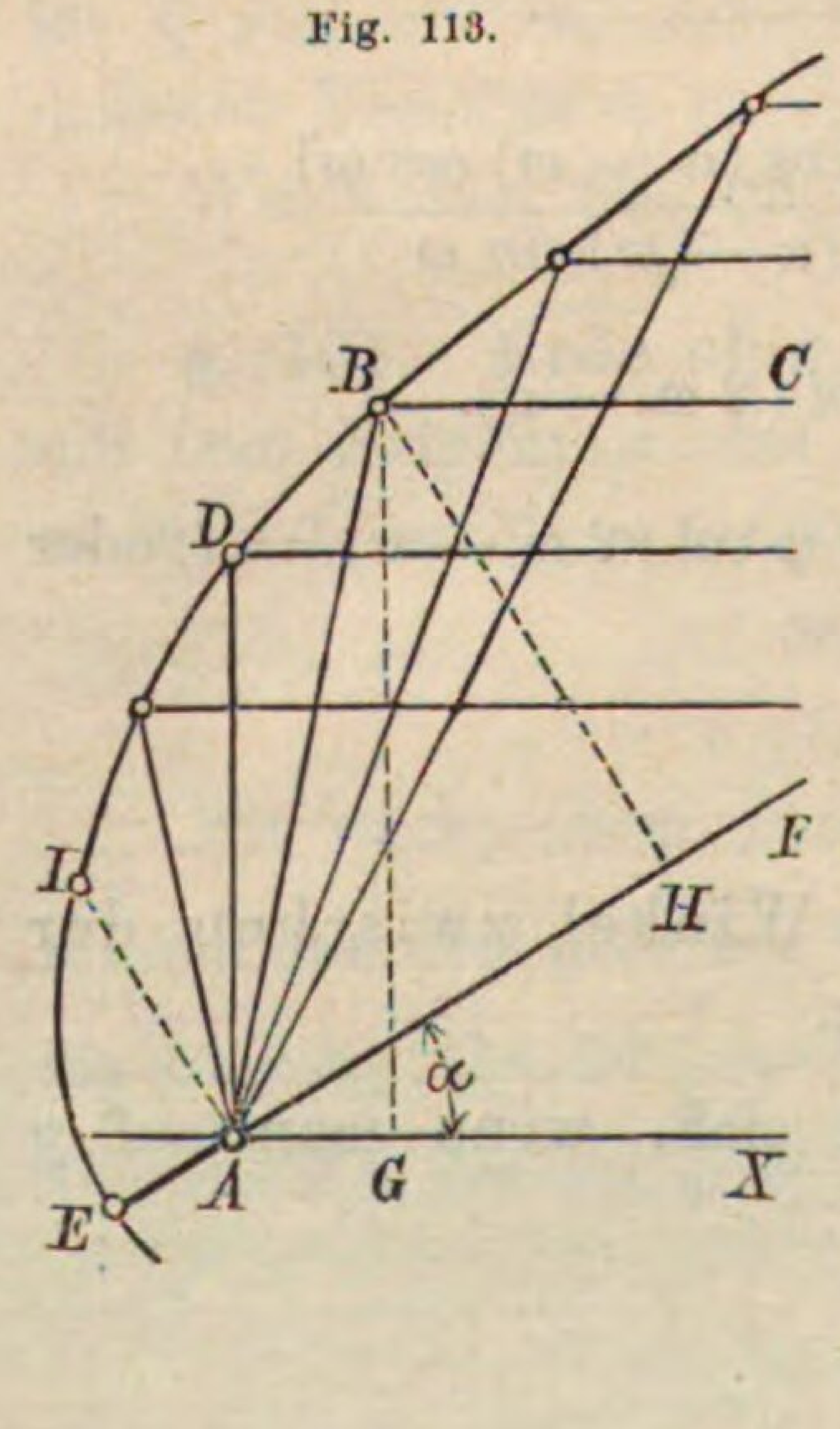
$$8.\quad \boldsymbol{h_0 = \frac{4c}{\gamma}\,tan\,(45^0 + \tfrac{1}{2}\varphi)}.$$

Demnach lässt sich auch setzen

$$9.\quad \boldsymbol{h = \frac{h_0\,sin\,\alpha\,cos\,\varphi}{2\,tan\,(45^0 + \frac{1}{2}\varphi)\,sin^2\frac{1}{2}(\alpha - \varphi)}}.$$

Diese Gleichung ist in der Anwendung insofern bequemer, als die Gleichung 7., als in ihr nicht mehr der Kohäsionskoefficient, sondern die Höhe h_0 vorkömmt, welche sich direkt durch Versuche bestimmen lässt. Nach dieser Formel ist die Tabelle auf folgender Seite berechnet.

Fig. 113.



Bezeichnet man den Horizontalabstand AG des Punktes B (Fig. 113) von der Basis A mit x, so ist $tan\,\alpha = \frac{y}{x}$. Dies in die Gleichung 9 eingesetzt, führt zu der Koordinatengleichung

$$10.\quad t^2\,(fx - h)^2 - 2h_0 t\,(x + fh) = h_0^2,$$

wenn man zur Abkürzung $tan\,(45^0 + \frac{1}{2}\varphi) = f + \sqrt{1 + f^2} = t$ setzt. Hieraus folgt, dass bei variabler Böschungshöhe h der Punkt B auf

einer Parabel liegt, deren Brennpunkt der Punkt A und deren Axe gegen die Horizontale AX unter dem natürlichen Böschungswinkel φ geneigt ist. Die Brennweite AE wird $= \frac{\cos\varphi}{2t} h_0 = \frac{2c}{\gamma} \cos\varphi$.

$\cot\alpha$	h $\cot\varphi =$ 1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8
9	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	1,29	1,26	1,24	1,23	1,22	1,21	1,21	1,20	1,19
0,2	1,71	1,64	1,59	1,55	1,52	1,49	1,47	1,45	1,43
0,3	2,35	2,19	2,08	1,99	1,91	1,86	1,81	1,77	1,74
0,4	3,36	3,02	2,78	2,60	2,46	2,35	2,26	2,17	2,13
0,5	5,11	4,34	3,84	3,48	3,22	3,02	2,87	2,74	2,63
0,6	8,41	6,63	5,53	4,83	4,33	3,97	3,69	3,48	3,30
0,7	15,77	10,90	8,42	6,96	6,00	5,33	4,84	4,48	4,18
0,8	37,41	20,47	13,92	10,61	8,65	7,39	6,51	5,88	5,39
0,9	157,4	48,55	26,65	17,51	13,18	10,65	9,01	7,89	7,07
1,0	∞	204,7	61,95	32,86	21,77	16,21	12,98	10,91	10,31
1,1		∞	206,6	79,01	40,81	26,73	19,74	15,71	13,03
1,2			∞	328,1	97,93	50,09	32,53	23,87	18,71
1,3				∞	405,5	119,2	59,39	39,24	28,44
1,4					∞	505,4	143,7	73,47	46,74
1,5						∞	616,2	168,5	86,29
					$. h_0$				

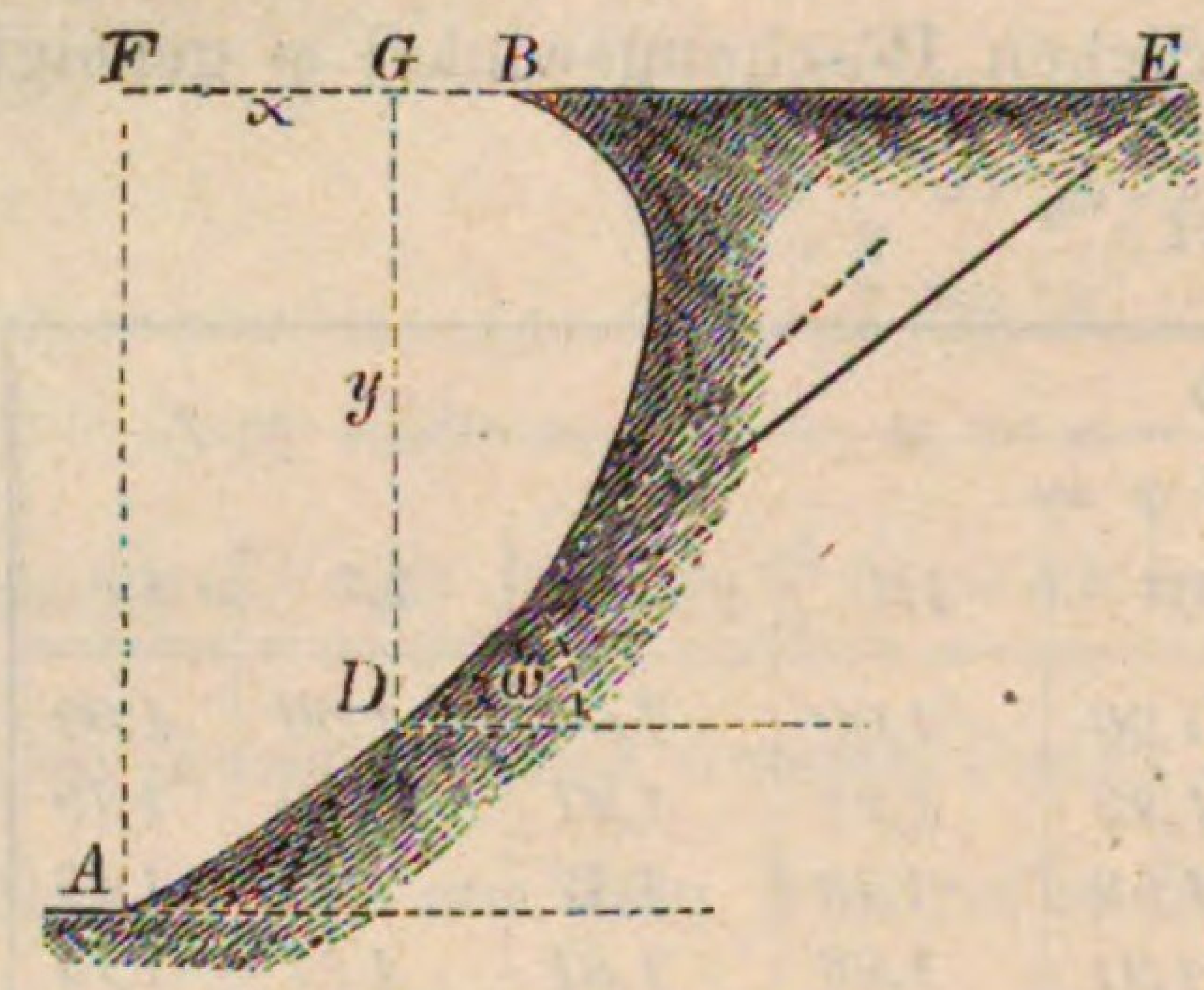
I. Beispiel. Eine Böschung soll *1fache* Anlage erhalten; die Erde hat *1,5fache* natürliche Böschung und lässt sich auf $1{,}3^m$ Höhe vertikal abstechen; welche Höhe kann man der Böschung geben? — Die Tabelle gibt für $\cot\varphi = 1{,}5$ und $\cot\alpha = 1{,}0 : h = 16{,}21\, h_0 = 16{,}21 \,.\, 1{,}3 = 21{,}1^m$.

Wichtiger ist die umgekehrte Aufgabe, nämlich bei gegebener Höhe die zulässige Böschung zu finden. Die Lösung zeigt folgendes Beispiel.

II. Beispiel. Welche Anlage kann man einer Böschung von 10^m Höhe geben, wenn die Erde eine *1,4fache* natürliche Böschung hat und sich auf $0{,}6^m$ Höhe vertikal abstechen lässt? — Es ist $h = 10{,}0,\ h_0 = 0{,}6,\ \frac{h}{h_0} = \frac{10{,}0}{0{,}6} = 16{,}67,\ \cot\varphi = 1{,}4$. In der Rubrik für $\cot\varphi = 1{,}4$ liegt die Zahl $16{,}67$ zwischen den Zahlen $13{,}18$ und $21{,}77$, welche für $\cot\alpha = 0{,}9$ und $\cot\alpha = 1{,}0$ gelten. Die Interpolation gibt: $x - 0{,}9 : 1{,}0 - 0{,}9 = 16{,}67 - 13{,}18 : 21{,}77 - 13{,}18$, d. i. $x - 0{,}9 : 0{,}1 = 3{,}49 : 8{,}59$, also $x - 0{,}9 = \frac{0{,}1 \,.\, 349}{8{,}59} = 0{,}04$, mithin $x = 0{,}94$. Es könnte also etwa *1-fache* Böschung gewählt werden.

§. 107. Beliebig geformte Böschung bei horizontalem Terrain. Für den beliebigen Punkt D (Fig. 114) der Böschung sei DE die Trennungsebene. Wir nehmen als Axe der x die ebene Terrainlinie an und legen die Axe der y vertikal durch den Böschungsfuss A. Der Inhalt der Fläche DGB sei F. Alsdann ist $G = (\varDelta DEG - DGB)\,\gamma = \left(\frac{1}{2} y^2 \cot\omega - F\right)\gamma$. Ferner ist $l = DE = y \operatorname{cosec}\omega$, mithin

Fig. 114.



$$\frac{Q}{P} = \frac{Gf \cos \omega + l}{G \sin \omega}$$

$$= \frac{Gf \cot \omega + lc \operatorname{cosec} \omega}{G}$$

$$= \frac{(y^2 \cot \omega - 2F) f\gamma \cot \omega + 2cy \operatorname{cosec}^2 \omega}{(y^2 \cot \omega - 2F)\gamma}.$$

Nun aber ist $\operatorname{cosec}^2 \omega = 1 + \cot^2 \omega$. Daher wird, wenn wir zur Abkürzung $\cot \omega = w$ setzen,

$$\frac{Q}{P} = \frac{y(f\gamma y + 2c)w^2 - 2Ff\gamma w + 2cy}{\gamma(y^2 w - 2F)},$$

$$\frac{dQ}{dP} = \frac{2y(f\gamma y + 2c)w - 2Ff\gamma}{\gamma y^2}.$$

Die Bedingungen 3. und 4. gehen daher über in

$$y(f\gamma y + 2c)w^2 - 2Ff\gamma w + 2cy = \gamma(y^2 w - 2F),$$
$$2y(f\gamma y + 2c)w - 2Ff\gamma = \gamma y^2.$$

Multiplicirt man die zweite Gleichung mit $\frac{1}{2}w$ und subtrahirt sie sodann von der ersten, so erhält man

$$(2Ff + y^2) fw = 4(F\gamma + cy).$$

Durch Elimination von w aus dieser und der vorigen Gleichung ergibt sich

11. $$(2Ff + y^2)^2 \gamma^2 = 8(F\gamma + cy)(f\gamma y + 2c)y.$$

Löst man diese Gleichung nach F auf, so erhält man nach gehöriger Reduktion

12. $$\boldsymbol{F = \frac{y}{2f^2\gamma}\left[4c + f\gamma y - 2\sqrt{2c(1 + f^2)(2c + f\gamma y)}\right].}$$

§. 108. Terrassirte Böschung mit konstanter Stabilität. Die eben entwickelte Gleichung gestattet leicht, die Böschungswinkel der einzelnen Terrassen einer terrassirten Böschung so zu bestimmen, dass sich für die Füsse der einzelnen Terrassen eine gleiche Stabilität ergibt. Bezeichnen wir für irgend eine Terrasse den Neigungswinkel mit α, die Breite der etwaigen Bermen mit b, die Ordinate für das obere und untere Ende mit y, y', die Terrassenhöhe $y' - y$ mit h (siehe Fig. 113), die im vorigen §. mit F bezeichneten Flächen mit F, F', so ist $F' - F = y(h \cot \alpha + b) + \frac{1}{2} h^2 \cot \alpha$, oder

13. $$\boldsymbol{\cot \alpha = 2\frac{F' - F - by}{h(2y + h)}.}$$

F und F' lassen sich direkt nach Gleichung 12 berechnen.

Beispiel. Die ganze Höhe von 24^m sei in 4 Terrassen von je 6^m Höhe mit $0{,}5^m$ breiten Bermen getheilt. Die Erde habe eine *1,5fache* natürliche Böschung und lasse sich auf $1{,}2^m$ Höhe vertikal abstechen. Es ist also $\cot\varphi = 1{,}5$, $f = \tan\varphi = \frac{2}{3}$, $\varphi = 33^0\,42'$. Nach 8. wird $\frac{c}{\gamma} = \frac{1}{4} h_0 \cot(45^0 + \frac{1}{2}\varphi) = \frac{1}{4} \cdot 1{,}2 \cdot \cot(45^0 + 16^0\,51') = 0{,}1605$. Daher wird nach 12:

$$F = y\,[0{,}7223 + 0{,}75\,y - \sqrt{0{,}7535 + 1{,}5649\,y}].$$

Hiernach ergibt sich für die vier Terrassen, wenn man $y = 6,\ 12,\ 18,\ 24$ setzt, bezüglich $F = 12{,}23,\ 63{,}63,\ 159{,}20,\ 30{,}079$. Nach 13. wird nun $\cot\alpha = \frac{F' - F - 0{,}5\,y}{6 + 18}$, d. i. für die einzelnen Terrassen, von unten angefangen:

$$\cot\alpha = \frac{300{,}79 - 159{,}20 - 0{,}5 \cdot 18}{6 \cdot 18 + 18} = 1{,}052,$$

$$\cot\alpha = \frac{159{,}20 - 63{,}63 - 0{,}5 \cdot 12}{6 \cdot 12 + 18} = 0{,}995,$$

$$\cot\alpha = \frac{63{,}63 - 12{,}23 - 0{,}5 \cdot 6}{6 \cdot 6 + 18} = 0{,}896,$$

$$\cot\alpha = \frac{12{,}23}{18} = 0{,}679,$$

so dass also die einzelnen Terrassen etwa *1,1, 1,0, 0,9* und *0,7fache* Böschung erhalten könnten.

§. 109. Gekrümmte Böschung mit konstanter Stabilität.

Differenziirt man den Ausdruck 12 nach y und beachtet dabei, dass $\frac{dF}{dy} = \frac{dF}{dx} \cdot \frac{dx}{dy} = -y\frac{dx}{dy}$ ist, so ergibt sich, wenn wir zur Abkürzung $\frac{2c}{\gamma} = m$ setzen,

$$\frac{dx}{dy} = -\frac{1}{f}\left[1 + \frac{m}{fy} - \frac{2m + 3fy)\sqrt{m(1+f^2)}}{2fy\sqrt{m + fy}}\right].$$

Bezeichnet man den Winkel, welchen die Tangente in D mit der Horizontalen bildet, mit τ, so ist $-\frac{dx}{dy} = \cot\tau$. Für $y = o$ wird $\cot\tau = -\infty$, $\tau = 180^0$, so dass die Böschung oben in eine horizontale, überhängende Ebene ausläuft. Mit wachsendem y wird $\cot\tau$ grösser. Für $y = \infty$ wird $\cot\tau = \frac{1}{f} = \cot\varphi$, $\tau = \varphi$, so dass sich mit wachsendem y der Winkel τ dem natürlichen Böschungswinkel φ immer mehr nähert.

Die Integration der eben aufgestellten Differenzialgleichung gibt nach den Integralformeln $\int\frac{dx}{\sqrt{a+bx}} = \frac{2}{b}\sqrt{a+bx}$ und $\int\frac{dx}{x\sqrt{a+bx}} = -\frac{1}{\sqrt{a}}\,lognat\,\frac{2a + x + 2\sqrt{a(a+bx)}}{x}$, wenn man gleichzeitig berücksichtigt, dass für $y = h$ das $x = o$ werden muss:

$$14. \quad x = \frac{1}{f}\left[h - y + a \, lognat \frac{h}{y} - \frac{3A}{\sqrt{a}}\left(\sqrt{a+h} - \sqrt{a+y}\right)\right.$$

$$\left. - A \, lognat \frac{h\left[2a + y + 2\sqrt{a(a+y)}\right]}{y\left[2a + h + 2\sqrt{a(a+h)}\right]}\right],$$

worin zur Abkürzung

$$a = \frac{m}{f} = \frac{2c}{fz}, \quad A = \frac{2c\sqrt{1+f^2}}{f\gamma}$$

gesetzt ist. Hiernach wird für $y = o$ das $x = \infty$. In der Wirklichkeit ist dies natürlich nicht möglich, weil sich der überhängende Theil zum Theil durch Abbrechen lösen wird, worauf wir in der Untersuchung keine Rücksicht genommen haben.

Anmerkung. Es liessen sich noch viele andere hierher gehörige Aufgaben behandeln, z. B der Fall der Belastung des Erdkörpers durch eine isolirte oder gleichmässig vertheilte Last, der Fall, in welchem im oberen Theile der Erdmasse eine geringere Kohäsion vorhanden ist, als im unteren Theile oder wo im oberen Theile gar keine Kohäsion vorhanden ist u. s. w. Wir begnügen uns indessen mit den gemachten Untersuchungen, da in der Praxis wegen der grossen Unbestimmtheit des Kohäsionskoefficienten nur sehr wenig Fälle vorkommen, in welchen sich die Theorie verwerthen lässt.

Ueber die Grösse der Reibung und Kohäsion werden wir im nächsten Kapitel sprechen.

IX. Kapitel.

Das Material.

§. 110. Einleitung. Das Material, in welchem die Einschnitte angelegt und aus welchem die Dämme gebildet werden, wird im Allgemeinen auch das Gebirge (franz. *le terrain*, engl. *the ground*) genannt.

Zur Aufstellung der Regeln für die Konstruktion der Erdbauten ist natürlich die Kenntniss des Gebirges nothwendig und zwar in doppelter Beziehung, nämlich zunächst hinsichtlich der speciellen, hier in Betracht kommenden (petrografischen) Eigenschaften der einzelnen Gebirgsarten, sodann aber auch hinsichtlich ihres (geotektonischen) Auftretens in der Natur. In beiderlei Hinsicht gibt die Geologie Aufschluss, auf welche wir verweisen müssen. Wenn man allerdings zugeben muss, dass speciell für die Konstruktion der Erdbauten wenige geologische Kenntnisse ausreichen, so sind weitergehende Kenntnisse in der Geologie dem Ingenieur beim Trassiren, bei den Bodenuntersuchungen für die Projektsverfassung und Kostenberechnung und bei der Ausführung der Bahn,

namentlich der Tunnels, geradezu unentbehrlich, so dass wir auch hier auf die Geologie verweisen können. Wir beschränken uns daher hier nur auf die Eintheilung des Gebirges und eine kurze Besprechung der für die Konstruktion am meisten wichtigen Eigenschaften.

Rziha sagt in seinem „Lehrbuche des Tunnelbaues" hierüber Folgendes: „Das Studium des Terrains verlangt gewisse geologische Vorkenntnisse und es möge gestattet sein, zu sagen, dass die Erlangung derselben von den Studirenden auf den polytechnischen Hochschulen leider nur zu sehr unterschätzt wird. Ausser dem Bergmanne, für welchen doch anerkannt die geologischen Kenntnisse als die Ausgangsstufen seiner ganzen Thätigkeit hingestellt werden, beschäftigt sich Niemand mehr mit Massenbewegungen in der Erdrinde, wie der Ingenieur für Kommunikationsbauten. Während der Bergmann seine geologischen Kenntnisse nicht allein dahin verwerthen muss, um ein Mineral oder Fossil aufzufinden, hat der Bauingenieur die Trasse seiner Weglinie nicht allein vom geologischen Standpunkte aus zu beurtheilen und zu verändern, sondern er muss auch in dem gegebenen Falle einer Massenbewegung, eines Eindringens in die Erdrinde, alle auftretenden Faktoren hinsichtlich des Kostenpunktes und der zu treffenden Vorkehrungen bis in das Detail zu erkennen vermögen."

§. 111. Eintheilung. Die Konstruktion der Erdbauten wird hauptsächlich durch den Festigkeitsgrad des Gebirges bedingt. In dieser Hinsicht lässt sich das Gebirge eintheilen in:

I. Fester Felsen, welcher sich durch eine grosse Festigkeit kennzeichnet und sich daher beliebig steil böschen lässt.

II. Milder Felsen, welcher geringere Festigkeit besitzt. Hierher gehören die in Verwitterung befindlichen Felsenmassen und viele von Natur weichere Felsarten, wie manche lockere Schiefer (namentlich Thonschiefer, Talkschiefer, Pläner, Mergel, Stein- und Braunkohlen; manche Konglomerate).

III. Lockeres Gebirge oder Erde besitzt nur eine geringe Festigkeit und ist daher flach zu böschen. Die Erde entsteht aus dem Felsen durch den Einfluss der Verwitterung, des Wassers und der organischen Thätigkeit; sie gehört meist den jüngeren Formationen, besonders aber der Diluvial- und Alluvialformation an.

Eine vollständige Trennung dieser drei Klassen findet nicht statt; es kommen vielmehr vielfache Uebergänge vor. Häufig zeigt sich auch Gebirge bei der Gewinnung als Felsen, welches aber bald durch Verwitterung in Erde übergeht und daher bei der Verwendung besondere Vorsicht erfordert; insbesondere besitzen die thonigen Sedimentgesteine diese Eigenschaft.

Für die Konstruktion sind ausserdem die Schichtungsverhältnisse wichtig. Man kann das Gebirge in dieser Hinsicht eintheilen in:

1. Geschichtetes Gebirge, d. i. Gebirge, welches mehr oder minder deutlich ausgebildete parallele Absonderungsflächen, sogen.

Schichtungsfugen zeigt. Hierher gehören vorzüglich die aus dem Wasser abgelagerten oder Sedimentgesteine, aber auch gewisse Urgesteine, die sogen. Schiefergesteine. Die Lage der Schichten ist durch ihr Streichen und Fallen bestimmt. In Einschnitten ist namentlich die Neigung der Schichten in dem zum Einschnitte senkrechten Sinne von Wichtigkeit; dieselbe ist entweder a. horizontal, b. gegen den Einschnitt zu fallend, oder c. gegen das Gebirge zu fallend.

2. Massiges Gebirge, welches keine Schichtung zeigt. Hierher gehören die plutonischen oder Eruptivgesteine (Granit, Syenit, Porfyr, Diorit etc.) und die vulkanischen Gesteine (Basalt, Dolerit, Melafyr, Trachit, Fonolith, Lava). Das Gestein ist meist mit unregelmässig vertheilten Trennungsflächen, sogen. Klüften (Losen, Losungen etc.) durchzogen.

Einer specielleren Besprechung wollen wir nun das lockere Gebirge unterziehen, da die Eigenschaften desselben für die Konstruktion der Erdbauten von besonderer Wichtigkeit sind. Wir theilen für unseren Zweck das lockere Gebirge am besten ein in a. rolliges Gebirge, b. Thone und c. Vegetabilische Erden.

§. 112. Rolliges Gebirge. Unter rolligem Gebirge verstehen wir die Massen, welche aus einzelnen mehr oder weniger rundlichen und mehr oder weniger grossen Steinstücken bestehen, denen ein Bindemittel entweder ganz fehlt oder die durch ein Bindemittel eine schwache Kohäsion erhalten haben. Wir unterscheiden folgende Arten:

1. Sand (franz. *le sable*, engl. *the sand*). Der gewöhnliche Sand besteht aus losen, kleinen Quarzkörnern bis zur Dicke von etwa $0{,}3^{cm}$. Der Sand hat häufig thonige oder kalkige Beimengungen. Man kann in Hinsicht der Korngrösse folgende Arten unterscheiden: grober Sand mit Körnern bis zu $0{,}3^{cm}$ Dicke, feiner Sand mit Körnern bis zu $0{,}15^{cm}$ Dicke und Flugsand, welcher so fein ist, dass er vom Winde leicht weggeweht wird (Dünenbildung). Natürlich kommen auch Mengungen vor. Der feine Sand kann durch Wasser zu einer Art Brei, zu sogen. Triebsand umgewandelt werden. In Hinsicht auf die Beimengungen unterscheidet man Glimmersand, thonigen Sand, Kalksand, mergligen Sand etc. Der Sand bildet für sich mächtige Ablagerungen, wechsellagert aber auch mit Sandstein, in welchen er übergehen kann, mit Thon, Mergel etc.

2. Kies (franz. *le gravier*, engl. *the gravel*, *grevel*). Der Kies zeigt dieselbe Bildung wie der Sand, hat aber gröbere Körner bis zu 2^{cm} Dicke. Häufig ist der Kies mit Sand gemengt.

Unter Grand versteht man häufig einen groben Sand oder feinen Kies, unter Gruss einen durch Verwitterung eines Gesteines entstan-

denen, aber nicht fortgeschwemmten Sand mit eckigen Körnern (Granit-, Syenit-Gruss etc.).

3. Gerölle (franz. *les galets, l'eboulis*, engl. *the rubble, rublet*). Das Gerölle ist ein angeschwemmtes Haufwerk von rundlichen Felsstücken verschiedener Felsarten. Stücke bis zur Kopfgrösse sind häufig; jedoch finden sich auch Steine von mehreren Centnern. Das Gerölle bildet sich in den Flüssen bei hohen Wasserständen noch heute. Man nennt das Gerölle auch häufig Geschiebe oder Schotter und unterscheidet wohl Flussschotter und Grubenschotter.

4. Geschiebe (franz. *les galets, l'eboulis*, engl. *the rubble, rublet*). Das Geschiebe unterscheidet sich vom Gerölle nur durch die mehr eckige Form der Steintrümmer (die Wörter sind von „rollen" and „schieben" abgeleitet). Sie haben beim Transporte durch Herabstürzen oder durch Fortschwemmen einen kürzeren Weg zurückgelegt, als die abgerundeten Trümmer. Man nennt das Geschiebe auch Gebirgsschutt oder ebenfalls Gerölle.

Gerölle, besonders aber Geschiebe, bildet mit Kies oder Sand am Fusse von Gebirgen Schuttterrassen und an der Einmündung von Seitenthälern im Hauptthale die Schuttkegel, ihrer mehr oder minder kegelförmigen Form wegen so genannt. Je nach der Ausbildungsweise unterscheidet man Schwemm- und Sturzkegel; die ersteren bestehen meist aus Gerölle, die letzteren aus Geschiebe. Schwemmkegel zeigen eine Neigung bis zu 16°, Sturzkegel eine Neigung bis zu 40°.

Häufig finden sich auch Felsentrümmer in Letten- oder Lehmlagern.

Durch Bindemittel kann das Gerölle zu einem mehr oder minder festen Felsen, Konglomerat genannt, übergehen.

§. 113. Thone. Die Thone sind Verwitterungsprodukte aller Gesteine, welche aus Doppelsalzen der kieselsauren Thonerde bestehen, d. i. aller Felsarten, welche Feldspath, Glimmer, Hornblende und Augit enthalten. Wir unterscheiden folgende Arten, wenn wir einzelne für uns weniger wichtige Thone z. B. Kaolin, ausnehmen:

1. Thon im engeren Sinne oder Töpferthon (franz. *l'argile*, engl. *the clay*). In demselben ist die kieselsaure Thonerde vorherrschend (90—95%); dieselbe ist mit Sand, Eisenoxyden, sowie organischen Stoffen verunreinigt. Die Farbe ist schmutzig weiss, grau, gelblich, bläulich, blau, grünlich, braun, schwarz. Er findet sich fast stets von Wasser durchnässt. Bei starker Durchnässung wird er für Wasser fast undurchdringlich; das Wasser macht ihn aber auf der Oberfläche schlüpfrig oder glitschig. Der bläuliche oder grünlich graue Thon des sogen. Wiener Tertiärbeckens heisst Tegel. Der Tegel enthält Sand, Glimmerschuppen und etwas kohlensauren Kalk.

Der Thon findet sich von der Silurformation an in allen späteren Formationen; in der älteren Formation tritt er mehr felsenartig als Schieferthon auf, welcher den Uebergang von Thonschiefer zum Thone bildet.

Von fremden Beimengungen, welche die Eigenschaften des Thones beeinflussen können, sind zu erwähnen: Gyps, Anhydrat, Salz, Eisenkies und Schwefelkies.

2. Letten (franz. *la terre glaise, la glaise*, engl. *the slaty*). Derselbe ist ein mit feinem Sande gemengter Thon. Der Sandgehalt beträgt bis zu 45%. Er zeigt eine graue, bläuliche, bräunliche oder rothe Farbe und einen schieferigen Bruch. Er fühlt sich magerer an, als der Thon. Für das Wasser ist er durchdringlicher, als der Thon, kann aber keine so grosse Wassermenge aufnehmen als dieser. Man kann thonreichen, sandreichen, glimmerreichen und bituminösen Letten unterscheiden. Der Letten wechselt ab mit Sand oder Thon oder liegt zwischen Gesteinschichten.

3. Lehm (franz. *le limon, le lehm*, engl. *the loam, the common clay*). Lehm ist ebenfalls ein Gemenge aus Thon und viel Sand (bis zu 55%); ausserdem enthält aber derselbe noch Eisenoxydhydrat (bis zu 10%) was ihm die ockergelbe bis braune Farbe gibt. Während dem Letten aller Sand mechanisch beigemischt ist, ist beim Lehme ein grosser Theil der Kieselsäure chemisch verbunden. Als Nebenbestandtheile treten Glimmerblättchen und kohlensaurer Kalk auf. Der stark kalkhaltige Lehm heisst auch Löss, obwohl dieser Name auch für andere Lehmarten angewendet wird. Der Lehm kann eine grosse Wassermenge (bis zu 50%) aufnehmen; jedoch erweicht er im Wasser viel leichter, als der Thon und wird weniger schlüpfrig. Der Lehm ist weniger plastisch, als der Letten, und noch weniger als der Thon. Der Lehm steht entweder zu Tage oder wird vom Sande oder Gerölle überdeckt. Er ruht auf Felsen oder auch auf Letten oder Thon. Der Letten wird mit dem Lehme und Thone häufig verwechselt. Uebergänge finden natürlich statt.

4. Mergel (franz. *le marne*, engl. *the marl*). Der Mergel ist eine innige Mengung von Thon oder Lehm mit mindestens 15% kohlensaurem Kalk (oder kohlensaurer Magnesia); verunreinigt wird er oft durch Sand und Eisenoxyd. Er zeigt die verschiedensten Farben z. B. weisslichgrau, gelblich, grünlich, ockergelb, braun. Durch wechselnden Einfluss der Witterung zerfällt er in eine lockere Masse. Er nimmt zwar viel Wasser auf, hält dasselbe aber nicht so fest zurück, als der Lehm, Letten und Thon; ebenso ist er weniger plastisch, als diese. Man unterscheidet Thonmergel, Lehmmergel, Kalkmergel, Dolomitmergel und Torfmergel (mit organischen Substanzen). Der Mergel tritt häufig felsenartig auf;

jedoch hat derselbe als Felsen keine Beständigkeit und zwar um so weniger, je mehr er Thon enthält.

5. Schlick oder Schlamm (franz. *la vase*, engl. *the mud*, *the mire*). Hierunter versteht man meist den thonigen Schlamm, welcher sich in Flüssen, Seen und Meeren absetzt und in seinen obersten Schichten sehr weich ist, so dass Holzpfähle sehr leicht eindringen; er erfordert daher, wenn er als Baugrund dienen soll, die äusserste Vorsicht. Er kann mehr thoniger, mehr sandiger oder mehr mergeliger Natur sein.

§. 114. Vegetabilische Erde. Die vegetabilische Erde besteht aus thoniger, lehmiger, kalkiger und sandiger Erde, welche mit ganz oder theilweise zersetzten Pflanzenresten gemengt ist oder nur aus Pflanzenresten. Die ganz zersetzten Pflanzenreste nennt man Humus. Die Farbe ist im nassen Zustande dunkelbraun bis schwarz, im trockenen Zustande heller. Es lassen sich folgende Arten unterscheiden:

1. Dammerde, (Ackererde, Humuserde) (franz. *la terre végétale*, *le humus*, engl. *the vegetable soil*, *the mould*). Dieselbe enthält ganz zersetzte Pflanzenreste und bildet immer die obere Schicht der Erdkrume. Je nach den Beimengungen unterscheidet man sandige, thonige, lehmige, kalkige, merglige, humose Dammerde. Die Mächtigkeit ist nur eine geringe. Der Humusgehalt beträgt höchstens 5%. Die besonders zum Gedeihen des Grases und der Feldfrüchte geeignete Erde heisst auch Muttererde.

Die schlammigen Substanzen, welche überfluthende Flüsse, Seen und Meere auf den Ufern absetzen, und welche durch die Pflanzenbildung in Humuserde übergehen, heissen Marschen (franz. *la maille*, engl. *the mesh*).

2. Torf (franz. *la tourbe*, engl. *the turf*, *peat*). Der Torf entsteht durch Zersetzung der Pflanzen unter stehenden oder wenig bewegten Gewässern. Die Torfbildung erfolgt noch jetzt. Das vom Torf erfüllte Terrain heisst ein Torfmoor. Durch die Bildung immer neuer Pflanzen auf den verwesten nimmt die Decke immer mehr zu, bis endlich die Wasserhöhe zur Weiterbildung nicht mehr ausreicht. Die Unterlage ist meist Thon oder Lehm oder Felsen. Der Torf wechsellagert aber auch mit Sand-, Lehm- und Mergelschichten. Meist bilden sich die Torfmoore in Niederungen, seltener im Gebirge (Höhenmoore).

3. Moore (franz. *les marais tourbeux*, engl. *the turf-moor*). Häufig ist die ganze Torfmasse fest. Häufig aber ist nur die obere Decke fest, während der untere Theil in einen mehr oder weniger konsistenten Brei übergegangen ist. Seltner wechseln feste und weiche Schichten. Es kann selbst der Fall eintreten, dass die Masse auf reinem Wasser förmlich schwimmt. Die breiige Masse nennt man Moor, während man unter Torf mehr die festere Masse versteht. Die ganzen Gebiete, auf welche

sich die Moorbildung erstreckt, heissen Moore oder Moorländer. Sie gehen im Laufe der Zeit in Torfmoore über. Fehlt dem Moore die feste Decke, so nennt man ihn auch Sumpf oder Morast.

§. 115. Eigenschaften der Gebirgsarten. Die für uns wichtigen Eigenschaften der Gebirgsarten sind:

1. Das Gewicht. Das verschiedene specifische Gewicht der Gebirgsarten kommt bei den Erdbauten verhältnissmässig wenig in Betracht, da ein grosser Unterschied nicht besteht. Nach den in folgender Tabelle angegebenen Zahlen wechselt das specifische Gewicht zwischen *1,3* und *2,9*, ganz leichte Erden, wie Torf, ausgenommen.

2. Reibung. Auch der Reibungskoëfficient ist bei trockenem Gebirge wenig verschieden; er liegt zwischen *0,6* und *1,1*. Feiner Sand zeigt die kleinste, eckige Bruchsteine zeigen die grösste Reibung. Das Wasser vermindert die Reibung; bei rolligem Gebirge ohne thonigen Bindemittel indess nur in geringem Gerade, während bei thonigen Materialien die Reibung ausserordentlich herabgemindert werden kann, und zwar um so mehr, je reiner der Thon ist. Wir haben Grenzwerthe des Reibungswinkels φ, sowie von $\cot\varphi$ in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

3. Kohäsion. Dagegen ist die Kohäsion äusserst variabel, wie die nachstehende Tabelle zeigt. Die Kohäsion wird gemindert durch das Zerkleinern beim Gewinnen, durch Erschütterungen, durch Verwitterung und bei thonigen Materialien durch das Wasser. Bei dem rolligen Gebirge ist die Kohäsion sehr verschieden je nach dem Bindemittel und Alter. Im Allgemeinen nimmt die Kohäsion mit der Tiefe zu, was durch die stärkere Verdichtung durch den zunehmenden Druck zu erklären ist.

Material	*Specif. Gewicht* γ	*Reibungswinkel* φ	*Anl. der nat. Bösch.* $\cot\varphi$	*Kohäsionskoëffic.* c	*Kohäsionshöhe* h_0
		Grad		*Klg. pro* □cm.	*Meter*
Torf	*0,5 — 0,8*	*14 — 45*	*4,0 — 1,0*	—	—
Feiner Sand . .	*1,3 — 1,8*	*30 — 40*	*1,7 — 1,5*	*0 — 0,01*	*0 — 0,3*
Grober Sand, Kies	*1,5 — 2,0*	*32 — 38*	*1,6 — 1,3*	*0 — 0,02*	*0 — 0,6*
Dammerde . . .	*1,3 — 1,9*	*30 — 40*	*1,7 — 1,2*	*0 — 0,05*	*0 — 2*
Gerölle	*1,7 — 2,2*	*34 — 42*	*1,5 — 1,1*	*0 — 0,30*	*0 — 10*
Lehm, Thon, trocken	*1,5 — 2,1*	*30 — 42*	*1,7 — 1,1*	*0 — 0,12*	*0 — 5*
desgl., nass . . .	*1,6 — 2,2*	*10 — 30*	*5,7 — 1,7*	*0 — 0,09*	*0 — 2*
Bruchsteine . . .	*1,6 — 2,3*	*42 — 48*	*1,1 — 0,9*	*0 — 0,13*	*0 — 3*
Fester Felsen . .	*2,0 — 2,9*	*42 — 48*	*1,1 — 0,9*	*15 — 160*	*450 — 8000*

Die Angaben für die Kohäsion sind für die Praxis ziemlich werthlos, da sie selbst bei demselben Materiale stark wechselt. Da, wo überhaupt auf eine dauernde Erhaltung der Kohäsion zu rechnen ist, muss dieselbe in jedem speciellen Falle ermittelt werden.

4. Wasserdurchlässigkeit. Höchst wichtig für die Konstruktion ist der Grad der Wasserdurchlässigkeit. Am meisten wasserdurchlässig ist das rollige Gebirge und zwar um so mehr, je geringer die Menge des Bindemittels ist. Selbst fester Felsen kann in Folge seiner Klüfte und Porosität wasserdurchlässig sein. Die thonigen Erden nehmen, wenn sie trocken sind, das Wasser auf, lassen es aber nicht durch, sondern halten es zurück und werden hierdurch für weitere Wassermengen undurchlässig. Je reiner der Thon ist, desto undurchlässiger ist derselbe, am meisten durchlässig ist noch der Mergel. In Folge dieser Eigenschaft ist es sehr schwer, thonige Erde zu entwässern, während im rolligen Gebirge Entwässerungen leicht durchzuführen sind.

5. Erweichung durch Wasser. Während das rollige Gebirge, wenn es kein thoniges Bindemittel besitzt, durch Wasser nicht erweicht, so geht das thonige Material, sowie der Torf durch Aufnahme einer grösseren Wassermenge in einen mehr oder minder breiigen Zustand über. Wie vorhin bemerkt, sind zwar die thonigen Erden mehr oder weniger wasserundurchlässig, wenn sie eine gewisse Wassermenge bereits aufgenommen haben; wenn indess das Wasser durch durchlässige Schichten oder Risse in das Innere des thonigen Bodens geführt wird oder wenn grosse Wassermengen lange Zeit mit ihm in Berührung sind, so tritt die Erweichung dennoch ein. Am meisten widersteht der reinere Thon dieser Erweichung, während der Lehm am leichtesten erweicht. Mehrfach wurden selbst Dämme, welche aus Thonschiefer-Felsen geschüttet wurden, durch anhaltende Regen in Thonbrei verwandelt. Diese Eigenschaft macht die thonigen Erden zum ungünstigsten Gebirge für den Erdbau.

6. Volumenvergrösserung. Die thonige Erde vergrössert bei Aufnahme von Wasser in geringem Grade ihr Volumen. In höherem Grade aber tritt dieses sogen. Blähen durch verschiedene chemische Vorgänge ein, welche bei der Berührung mit Luft oder Wasser im Innern der Erdmasse auftreten. So z. B. enthalten die Mergelschiefer, durch welche der Lupkow-Tunnel in den Karpathen geführt ist, Schwefelkies und Kalk; letzterer geht durch die Zersetzung des Schwefelkieses in Gyps über, welcher in feinen Krystallnadeln auftritt und bei seinem Entstehen eine Blähung veranlasst. — Der Keupermergel, durch welchen der Tunnel zwischen Heilbronn und Weinsberg in Württemberg geführt ist, enthält Anhydrit, d. i. wasserfreien schwefelsauren Kalk, welcher durch Wasser, welches ihm durch eine Betriebsschacht zugeführt wurde, unter bedeutender Aufblähung in krystallinisch körnigen Gyps umge-

wandelt wurde. Wird die Volumenvergrösserung durch die umgebende Gebirgsmasse gehindert, so äussert sich das Streben zum Blähen durch mehr oder minder starke Druckäusserungen, welche Rutschungen herbeiführen.

§. 116. Terrain-Sondirungen. Für die möglichst rationelle Projektirung sind vorangehende Terrainsondirungen höchst wichtig. Obwohl der geologisch gebildete Ingenieur durch die blosse Besichtigung viel gewinnt, so reicht man hiermit nicht immer aus; jedoch werden die geologischen Kenntnisse es ermöglichen, die eigentlichen Sondirungen auf ein Minimum zu beschränken Die einfachste Sondirung besteht in der Anlage von Bohrlöchern; jedoch sind diese nicht immer geeignet, sich eine genaue Kenntniss von der Bodenbeschaffenheit zu verschaffen; diesen Zweck erreicht man durch die Anlagen von Probeschächten viel besser. In vielen Fällen wird die Kombination beider Verfahren das rationellste sein, indem man durch die Probeschächte Aufschluss über die Bodenbeschaffenheit gewinnt, während die Bohrlöcher zur Beurtheilung der Schichtungsverhältnisse, die nach einzelnen Schächten nur ungenügend beurtheilt werden können, weitere Anhaltspunkte geben. Ein besonderes Augenmerk ist hierbei auf das Auftreten des Wassers, sowohl zu Tage, als im Innern, sowie etwaiger früherer Terrainbewegungen, zu richten.

Bei trockner Jahreszeit muss man sich hierbei vor einer Täuschung zu wahren suchen, indem ein nachtheiliger Einfluss des Wassers oft erst nach starken Regengüssen oder beim Schmelzen des Schnees eintritt.

Für die Anlage von Entwässerungen ist es unter Umständen zweckmässig, die Schichtungsverhältnisse, namentlich die Lage etwa auftretender wasserführender Schichten, durch einen unterirdischen Schichtenplan darzustellen. Ein Beispiel eines solchen zeigt Taf. V.

Ueber die praktischen Durchführungen der Sondirungen werden wir bei der „Ausführung der Erdbauten“ sprechen.

X. Kapitel.

Deformationen.

§. 117. Arten der Deformationen. Die Formänderungen. Deformationen oder Terrainbewegungen, welche das natürliche Terrain, sowie die Erdbauwerke zeigen, lassen sich in zwei Gruppen theilen. Bei der ersten Gruppe trennt sich ein Theil los und gleitet im Ganzen auf dem in Ruhe bleibenden Theile ab; bei der zweiten dagegen verschieben sich die einzelnen Theilchen der breiigen Masse derart, dass

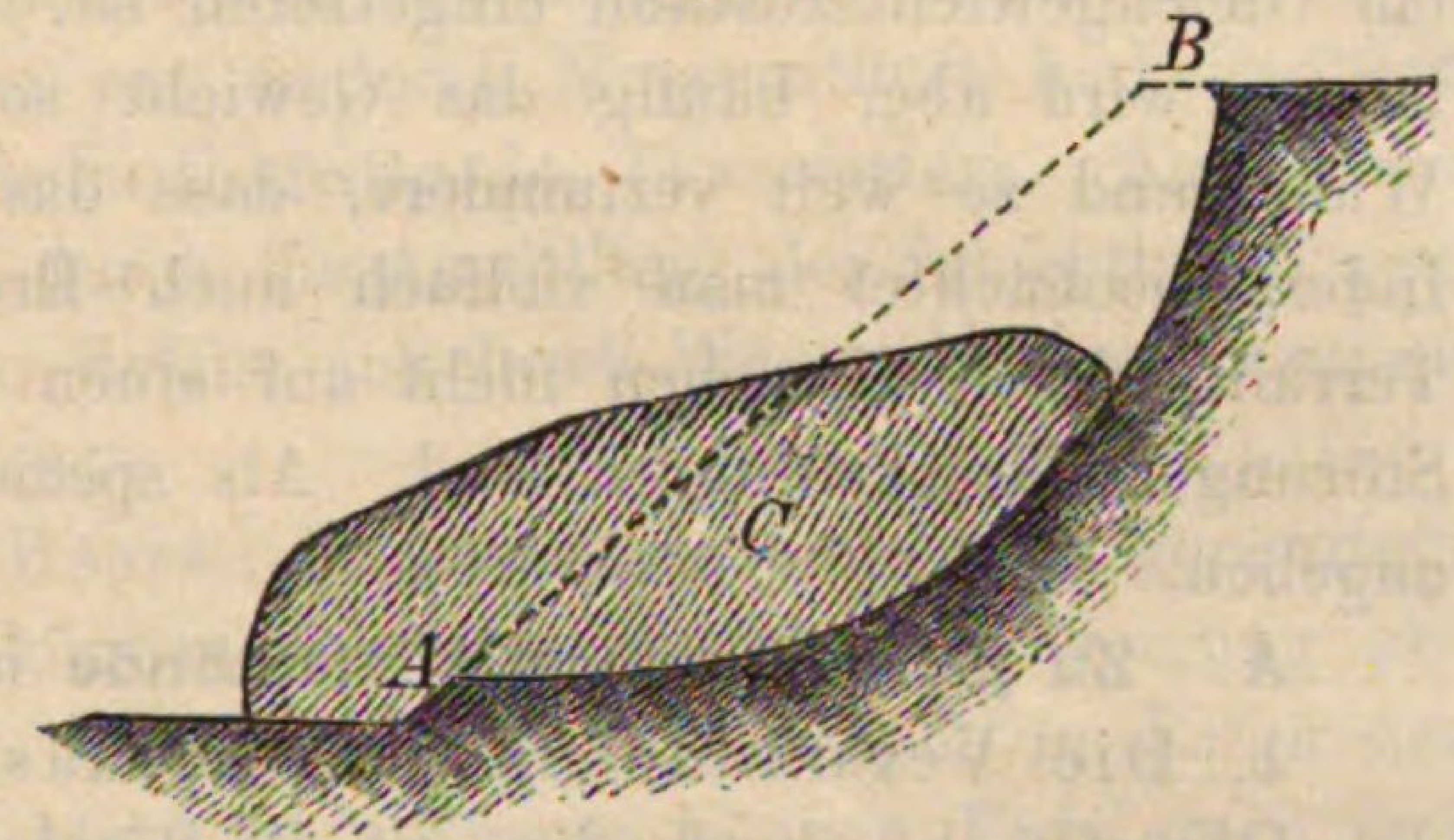
keine eigne Trennungsfläche zu beobachten ist. Die erste Gruppe von Deformationen nennt man Abrutschungen (franz. *l'éboulement*, engl. *the slip, the slipping*) und die Trennungsfläche, auf welcher das Abgleiten erfolgt, die Rutsch- oder Gleitfläche (franz. *la surface de glissement*, engl. *the surface of the slipping*); die zweite Gruppe von Deformationen hat keinen bestimmten Namen; man kann sie Quellungen oder Fluss (franz. *le coulement*, engl. *the flow*) nennen.

Die Abrutschungen kann man wieder eintheilen in:

1. Abbröckelungen, d. i. Ablösungen kleiner Massen von Erd- oder Felsenböschungen, die auf der Böschung herabrollen oder herabstürzen.

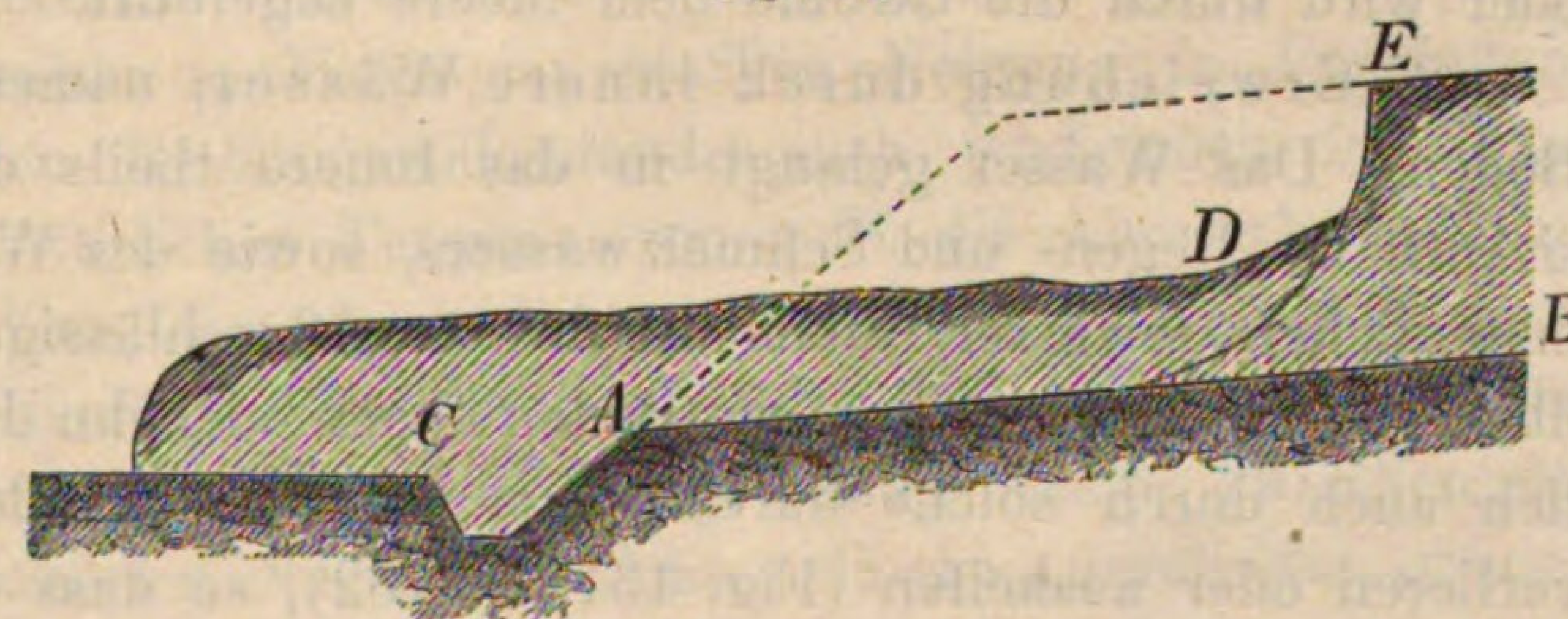
2. Massenstürze, d. i. Abrutschungen grösserer Partien, die sich entweder bei Böschungen entweder auf die ganze Höhe der Böschung, oder auf einen Theil derselben erstrecken (Fig. 115). Die Rutschfläche ist gewöhnlich eine konkave Fläche, die unten sehr flach, oben sehr steil ist. Collin will durch viele Beobachtungen gefunden haben, dass das Querprofil der Rutschfläche nahe mit einer Cykloide zusammenfalle.

Fig. 115.



3. Grundabrutschungen, d. i. Abrutschungen von Erd- oder Felsenmassen auf geneigten, bereits vor dem Eintreten der Abrutschung bestehenden Trennungsflächen (Fig. 116). Man nennt solche Flächen natürliche Rutschflächen, auch Schleifflächen.

Fig. 116.



Auch die Quellungen zeigen verschiedene Formen; namentlich kann man nach der Richtung der Hauptbewegung unterscheiden 1. Seitenquellungen, z. B. die Verbreiterung, eines aus einer breiigen Erde geschütteten Dammes; 2. Versenkungen, d. i. das Ausweichen nach unten in Folge von Belastungen; 3. Aufsteigen oder Sohlenhebungen, d. i. das Emporsteigen in Folge eines nach oben gerichteten Druckes oder Auftriebes.

Unter Umständen können auch mehrere Arten von Deformationen vereint auftreten.

Der Erdbau hat in Betreff der Formänderungen drei Aufgaben, nämlich: a. Erforschung der Ursachen der Deformationen; b. Erörterung der einfachsten Mittel zur Verhütung von Deformationen und c. Besprechung der Reparatur deformirter Erdbauwerke.

§. 118. Ursache der Deformationen. Die Grundursache der Deformationen ist natürlich das Gewicht der Erdmassen, welches die Bildung einer horizontalen Oberfläche anstrebt. Dieser Bewegung setzen sich Widerstände entgegen, welche im natürlichen Zustande in der Regel genügen, die Bewegung zu hindern, da im Laufe der Zeit oft schon Bewegungen stattgefunden haben, die soweit gegangen sind, bis endlich ein Gleichgewichtszustand eingetreten ist. Durch die Anlage von Erdbauten wird aber häufig das Gewicht so stark vergrössert oder der Widerstand so weit vermindert, dass das Gleichgewicht gestört wird. Indess beobachtet man vielfach auch Erdbewegungen im natürlichen Terrain, deren Ursachen nicht auf einen Bau, sondern auf natürliche Störungen zurückzuführen sind. Als specielle Ursachen lassen sich nun angeben.

A. **Zu geringe innere Widerstände** und zwar:

1. Die Verminderung der Kohäsion und der Reibung an der Oberfläche durch das auf die Böschungen fallende oder über dieselben laufende Wasser, durch Frost und Verwitterung. Hierdurch entstehen meist sich wiederholende Abbröcklungen. In dieser Weise erfolgen ja auch die allmähligen Abflachungen der Gebirge; das in Bewegung gerathene Material sammelt sich am Fusse der Gebirge als Schutthalde oder wird durch die Ströme dem Meere zugeführt.

2. Erweichung durch innere Wässer, namentlich bei thonigem Boden. Das Wasser gelangt in das Innere theils durch direktes Einsickern des Regen- und Schmelzwassers, sowie des Wassers in der Nähe befindlicher Gewässer, theils durch wasserdurchlässige Schichten, welche über oder unter dem thonigen Boden liegen oder ihn durchsetzen, namentlich auch durch solche durchlässige Schichten, welche sich allmählig verlieren oder auskeilen (Fig. 131, S. 182), so dass das Wasser keinen Abfluss hat. Die Erweichung erzeugt Massenstürze oder Quellungen, auch wohl beide gleichzeitig. Man beobachtet hier und da selbst noch freiwillige Terrainbewegungen dieser Art, indess selten, weil bei diesen Bewegungen sich allmählig eine Oberfläche von so geringer Neigung bildet, dass weitere Erweichungen keine Bewegungen mehr veranlassen können. Jedenfalls aber war dieser Vorgang beim Entstehen der jetzt vorhandenen Terrainbildung thätig.

3. Wasserführende Schichten. Der feuchte Thon lässt das Wasser nicht eindringen; wird nun der Thon von mehr oder weniger durchlässigen Schichten überlagert, so bilden sich im Innern ziemlich scharf markirte Flächen, auf denen bei geneigter Lage das Wasser als Sicker- oder Grundwasser innerhalb der wasserführenden- oder Sickerschicht (franz. *le banc de suintement*) abläuft. Von diesem Wasser wird, wenn dasselbe an einer Böschung zu Tage tritt, feiner Sand und thonige Erde mit fortgerissen, so dass sich Abbröckelungen bilden, und, wenn hierdurch den oberen Schichten die Unterlage genommen wird, auch Massenstürze entstehen. Die Thonschicht wird durch die Erweichung an der Oberfläche glitschig, oft in sehr hohem Grade, so dass nicht selten Grundabrutschungen entstehen, die zuweilen eine grosse Ausdehnung annehmen. Im Winter gefriert das zu Tage tretende Wasser, wodurch der Abfluss der inneren Wässer gehemmt wird; es sammelt sich somit das Wasser im Innern in grossen Mengen an, wodurch Massenstürze herbeigeführt werden können, namentlich beim Eintritte des Thauwetters. Auch beim Felsen kann das Abrutschen durch die Ausfüllung der Schichtungsfugen und Klüfte durch Thonmassen, welche sich durch Wasser in eine Schmiere verwandeln, begünstigt werden.

4. Geneigte Lage der Basis. Dämme, welche auf stark geneigtem Terrain geschüttet werden, können in Folge der starken Neigung abrutschen, wenn die Reibung auf dem Terrain, vielleicht in Folge der Nässe, des Graswuchses etc. klein ist. Ebenso können Erdmassen und selbst Felsenmassen abrutschen, wenn sie eine stark geneigte Schichtung haben, selbst bei verhältnissmässig grosser Reibung. Natürlich wird die Neigung, bei welcher ein Abrutschen eintritt, um so kleiner sein, je geringer die Reibung ist, so dass der Reibungswiderstand und die Neigung nie getrennt beurtheilt werden können.

Vielfach entstehen in Folge der starken Neigung in Verbindung mit einem geringen Reibungswiderstande auch jetzt noch freiwillige Bewegungen des natürlichen Terrains, wie z. B. die Abrutschungen am Kahlenberge bei Wien, die Abrutschungen bei Kaub am Rheine u. s. w. Auch der grosse Goldauer Bergsturz in der Schweiz, welcher fünf Dörfer verschüttete, entstand, indem Mergelbänke, welche zwischen den unter 25 Grad geneigten Nagelfluhschichten liegen, durch die grossen im Winter 1805—1806 gefallenen Wassermengen erweicht wurden.

B. Zu grosse bewegende Kräfte.

5. Zu steile Böschung, wodurch Abbröckelungen und Massenstürze entstehen (vergl. §. 122).

6. Zu starke Belastung. Dämme sinken in weichem Boden, wie Moor und Seeschlamm, ein oder rutschen sammt der oberen Erdschicht auf einer unter der Terrainfläche liegenden Rutschfläche ab, wenn der

Damm durch das allmählige Fortschreiten des Baues zu schwer wird. Es zeigt dies, dass auf der Rutschfläche nicht immer nur Reibung als Widerstand thätig ist, sondern auch Kohäsion, da im ersten Falle die Vergrösserung des Gewichtes keine Bewegung veranlassen könnte, indem proportional der Vergrösserung des Gewichtes auch die Reibung zunimmt. Ebenso können Seitenablagerungen, Schneedämme und andere Belastungen des Terrains am Rande von Einschnitten Bewegungen veranlassen.

7. Stehendes und fliessendes Wasser. Das Wasser wirkt theils durch die Erweichung des Bodens, wie schon oben bemerkt, theils durch den Wellenschlag, indem durch den hierdurch veranlassten Stoss kleine Erdmassen weggespült werden, theils durch die Strömung. Es wirkt aber auch indirekt bei schnell sinkendem Wasserstande, indem hierbei das in die Erde eingedrungene Wasser nicht so schnell mitfallen kann, so dass es mit einem starken Gefälle aus dem Erdreiche zurückströmen muss, wobei es Erdtheilchen mit sich fortreisst. Die Ufer werden hierdurch allmählig so steil, dass in Folge zu steiler Böschung Massenstürze entstehen können.

8. Das Blähen. Die bereits in §. 115 erwähnte Tendenz zur Volumenvergrösserung oder zum Blähen in Folge von chemischen Prozessen, welche beim Zutritte der Luft oder des Wassers entstehen können, kann Rutschungen herbeiführen. Indess ist dieser Fall gegenüber dem Entstehen von Rutschungen auf rein mechanischem Wege selten.

9. Erschütterungen durch Eisenbahnzüge und Erdbeben. Hierdurch wird die Kohäsion dauernd gelockert und auch der natürliche Böschungswinkel etwas vermindert, indem die Theilchen auf der Oberfläche durch die Erschütterungen aus ihrer Lage entfernt werden und eine tiefere Lage annehmen.

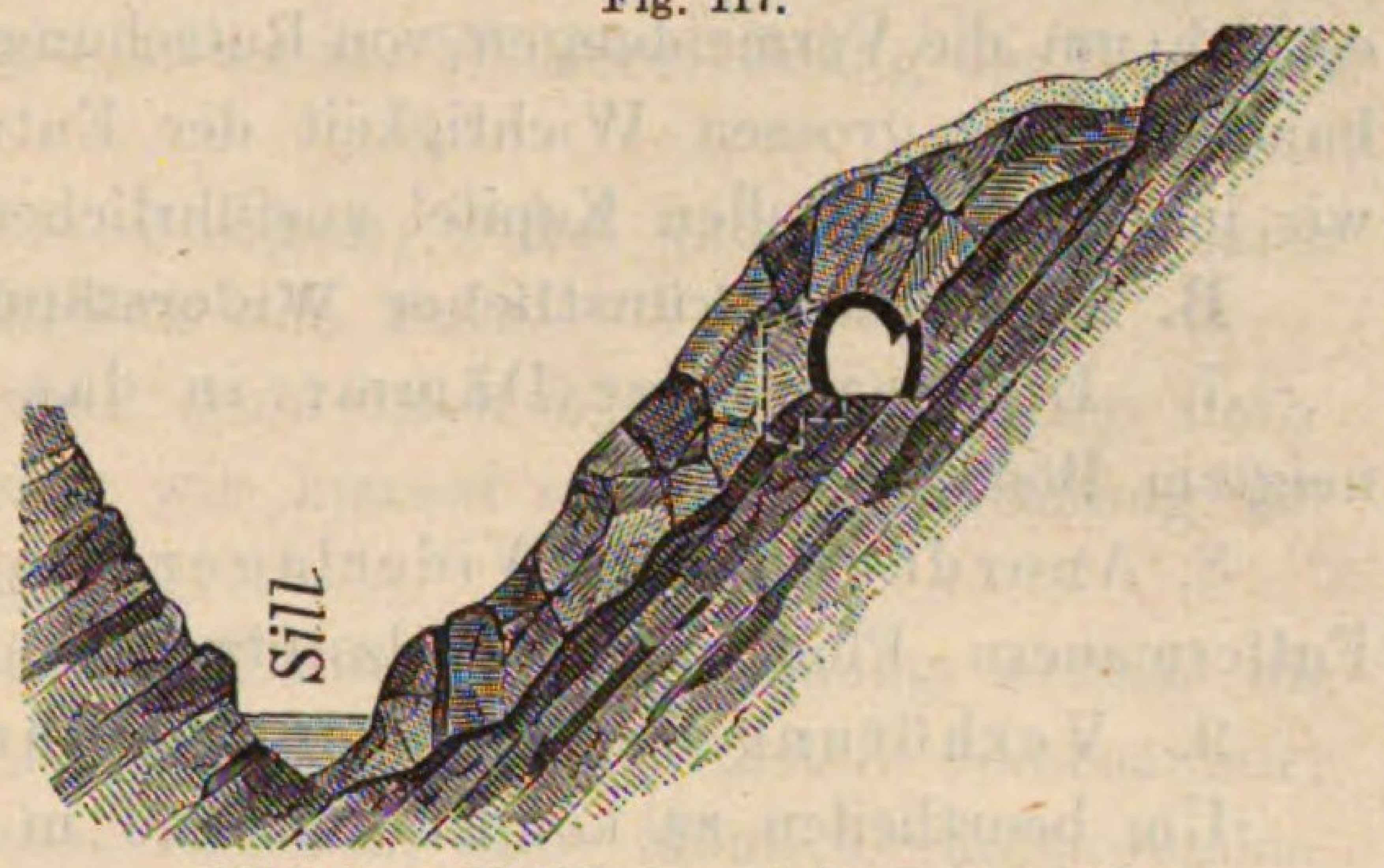
C. **Zu geringe äussere Widerstände.** Die unter 2. bis 4. genannten Ursachen veranlassen an sich allein keine Bewegung, wenn die Masse, welche eine Tendenz zur Bewegung hat, durch ein Widerlager, welches einen hinreichend grossen Widerstand bietet, gehalten wird. Im natürlichen Zustande des Terrains sind derartige Widerlager oft vorhanden, z. B. durch muldenförmige Schichtung, so dass zwei entgegengesetzte bewegende Kräfte entstehen, durch allmählige Trockenlegung der wasserführenden Schicht nach abwärts in Folge der Einsickerung des Wassers in tiefere Schichten, durch sogen. Verwerfungen u. s. w. Dieses Widerlager aber kann auf künstlichem oder natürlichem Wege beseitigt werden und zwar:

10. Beseitigung des Widerlagers durch Einschnitte. Wohl die meisten der grösseren Abrutschungen entstehen in dieser Weise.

11. Beseitigung des Widerlagers durch Wasser. In der

Nähe von Gewässern entstehen Abrutschungen häufig in der unter 7. bezeichneten Weise. Hierdurch kann den auf Rutschflächen ruhenden Massen das Widerlager genommen werden. Bei der Bildung der Thäler ist dieser Vorgang vielfach thätig. Fig. 117 zeigt beispielsweise das Querprofil des Sillthales in Tyrol am Mühlthaltunnel der Brennerbahn; der Abhang, auf welchem die Bahn angelegt ist, besteht aus Thonglimmerschiefer; der ganze Abhang ist mit Gesteinstrümmern bedeckt, welche in Folge des fortwährenden Unterwaschens der Sill nach abwärts wandern.

Fig. 117.



Sillthal am Mühlthaltunnel der Brennerbahn.

12. Erdspaltungen. Bei den Grundabrutschungen rutscht gewöhnlich nicht die ganze über der Rutschfläche liegende Masse gleichzeitig ab, sondern es löst sich durch einen Erdspalt der vordere Theil los. Der an seiner Stelle verbliebene Theil ist hierdurch seines natürlichen Widerlagers beraubt, so dass sich ein weiterer Theil lostrennen kann. In dieser Weise pflanzt sich eine Abrutschung allmählig weiter fort, wodurch Terrainabstufungen, wie z. B. in Fig. 131 (S. 182), entstehen. Man beobachtet derartige Abstufungen des Terrains vielfach als Spuren ehemaliger freiwilliger Rutschungen.

§. 119. Verhütung von Deformationen. Die Mittel zur Verhütung von Deformationen gehen unmittelbar aus der Besprechung der Ursachen derselben hervor. Dieselben sind

A. Verhütung der Ursachen, soweit dies angeht; und zwar:

1. Vermeidung von gefährlichem Terrain. Es ist eine wichtige Trassirungsregel, Terrain zu vermeiden, welches zu Deformationen Anlass geben kann, also Moorboden und sogen. Rutschterrain, namentlich Terrain, in welchem schon Rutschungen stattgefunden haben, da hier in der Regel kleinliche Anlässe genügen, das Terrain wieder in Bewegung zu setzen. Leider geht dies nicht immer an, da man einestheils mit der Trasse gebunden sein kann, anderntheils aber auch oft die Neigung zum Rutschen nicht genügend erkannt wird.

2. Möglichste Vermeidung von thonigem Boden zu Aufträgen; auch diese Bedingung ist nicht immer leicht zu erfüllen.

3. Entsprechende Vorsicht bei der Herstellung, namentlich Vermeidung der Bildung von Rutschflächen bei der Anschüttung von Dämmen.

4. Anwendung genügend flacher Böschungen, worüber wir speciell in §. 122 sprechen werden.

5. Bedeckung der Böschungen, namentlich zur Verhütung von Abbröcklungen (vergl. §. 125).

6. Entwässerungen bilden stets die Hauptmaassregeln, wenn es sich um die Vermeidungen von Rutschungen in Folge innerer Wässer handelt. Der grossen Wichtigkeit der Entwässerungen halber werden wir in einem speciellen Kapitel ausführlicher hierauf eingehen.

B. Herstellung künstlicher Widerstände und zwar:

7. Einlassen der Dämme in das Terrain bei zu stark geneigtem Boden.

8. Anordnung von Widerlagern in Form von Gegenbanketten, Futtermauern, Pfeilern und Holzstützungen.

9. Verhütung des Aufsteigens durch Belastung.

Um beurtheilen zu können, ob und in welcher Weise Deformationen entstehen können und eine zweckmässige Wahl der Mittel treffen zu können, ist vor Allem eine genaue Terrainuntersuchung nothwendig, wie bereits in §. 116 erwähnt. Dies ist verhältnissmässig leicht gegenüber der Bestimmung der Kräfte, welche die Bewegungen veranlassen, von denen also die Ausdehnung oder Dimensionirung der gewählten Anordnung abhängen müsste. In dieser Beziehung kann leider nur eine Schätzung auf Grund von Erfahrungen stattfinden, da uns die Theorie hierin fast ganz im Stiche lässt. Es kann daher nicht Wunder nehmen, wenn es selbst erfahrenen Ingenieuren nicht immer gelingt, Deformationen zu verhindern, so dass häufig genug Reparaturen nothwendig werden.

§. 120. Reparatur deformirter Erdbauwerke. Ist eine Deformation wirklich entstanden, so sind im Allgemeinen die folgenden Arbeiten durchzuführen:

1. Provisorische Anordnungen zur Wiederherstellung des Betriebes, falls dieser bereits eröffnet und durch die Deformation gestört war.

2. Erforschung der Ursachen der Deformation, falls diese nicht bereits vor dem Eintritte derselben bekannt waren oder an und für sich klar zu Tage liegen.

3. Nachträgliche Durchführung derjenigen Maassregeln, welche schon vorher hätten angewendet werden sollen, soweit dies eben noch möglich ist, oder Ergänzung der etwa schon vorher angewendeten, aber nicht hinreichend wirksamen Maassregeln, um den Deformationen möglichst Einhalt zu thun.

4. Anderweite Anordnungen, welche eine weitere Ausdehnung

der Deformationen hindern, da sich selten die oben genannten Maassregeln vollständig nachholen lassen, wenn bereits Deformationen eingetreten sind, namentlich die Anordnung künstlicher Widerlager.

5. Wiederherstellung der Planie, falls dieselbe zerstört oder verschüttet war, bei Dämmen durch neue Aufschüttungen, bei Einschnitten durch die Beseitigung der nicht schon zur Wiedereröffnung des Betriebes beseitigten Massen.

6. Regulirung der Böschungen, wobei unter Umständen auch eine Abflachung derselben rathsam sein kann.

In speciellen Fällen können wohl noch besondere Arbeiten nothwendig werden; jedoch können wir hierauf erst bei Besprechung der Einschnitte und Dämme eingehen.

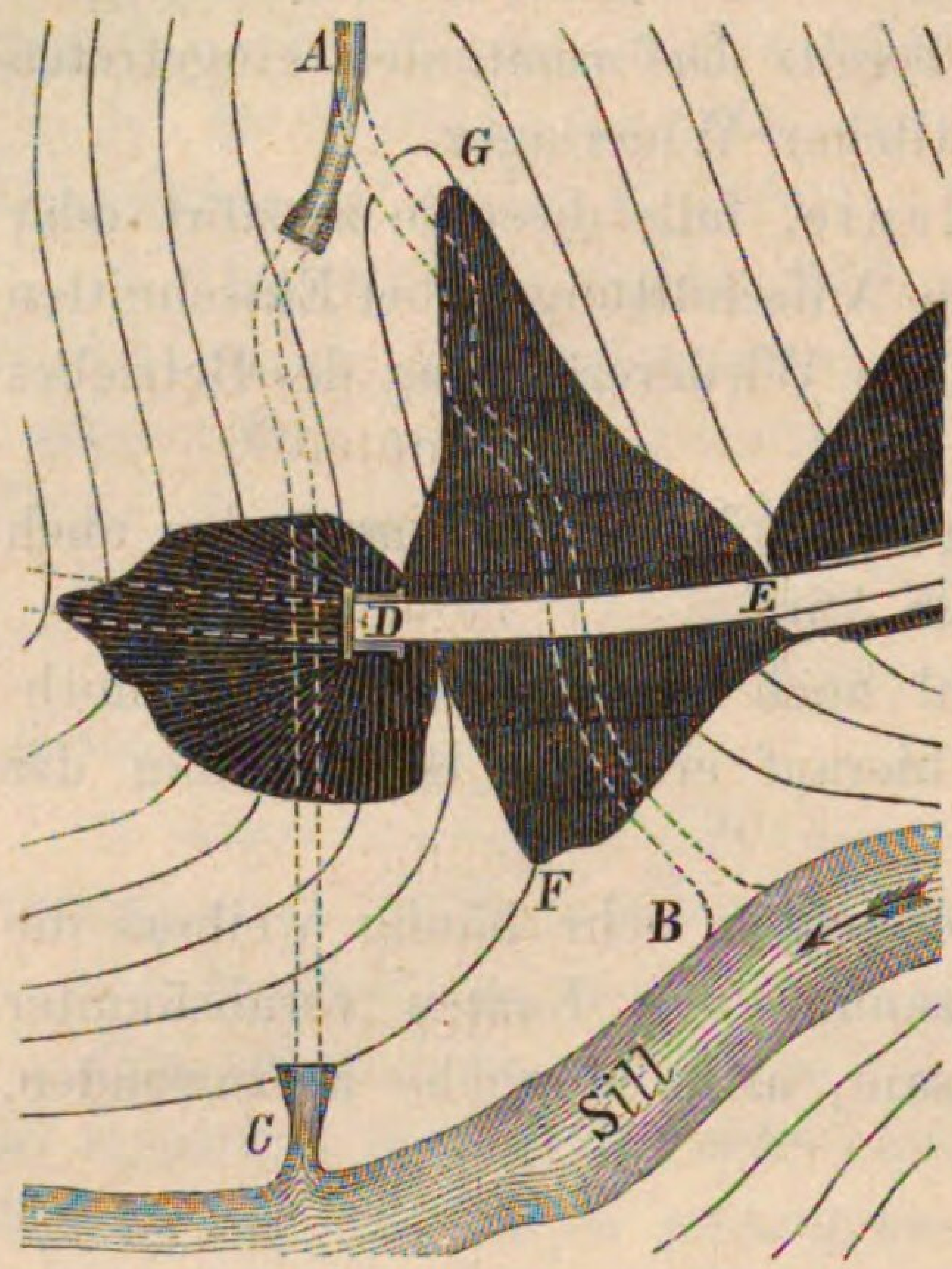
Die Kosten der Reparaturen übersteigen sehr häufig weitaus die Kosten der ursprünglichen Anlage sammt den Kosten verabsäumter Präservativmittel. Es ist daher rathsam, alles Mögliche aufzuwenden, um Deformationen vorzubeugen.

§. 121. Terrainbewegungen durch Wind und Wasser. Als eine besondere Art von Terrainbewegungen erwähnen wir noch das Fortführen von feinem Sande durch Wind und von beliebigem Erdmateriale durch fliessendes Wasser. Das Verwehen des Sandes bringt namentlich den Nachtheil, dass hierdurch die Schienen bedeckt werden können, mindestens einen Ruin der Mechanismen der Lokomotive und Belästigung der Reisenden. Man schützt sich gegen das Verwehen durch eine Bedeckung der sandigen Böschung und durch eine entsprechende Bebauung der anliegenden sandigen Felder, wohl auch durch Aufstellung von besonderen Wehren, ähnlich den Schutzanlagen gegen Schneeverwehungen. In sehr sandreichen Gegenden kann der Sand trotzdem zu einer grossen Plage werden.

Das Fortführen von Erdmaterial durch Wasser kann wohl bei Dämmen, welche sich an fliessenden Gewässern hinziehen, eintreten, wenn kein genügender Schutz angeordnet ist. Zuweilen aber sind Zerstörungen dadurch eingetreten, dass sich die Durchlässe bei Hochwasser als zu klein erweisen oder durch vom Wasser fortgeführtes Material, wie Holz, Steine etc., verlegen; das hierdurch fortwährend steigende Wasser kann entweder Dammbrüche herbeiführen oder, wenn es bis zur Planie gestiegen ist, über den Damm stürzen und diesen allmählig abspülen. Vor solchen Katastrofen kann natürlich nur eine grosse Vorsicht bei Anordnung der Durchlässe sichern, auf welche wir hier indess nicht eingehen können.

Als ein hierher gehöriges Beispiel erwähnen wir einen Fall, welcher sich auf der Brennerbahn ereignete. Der in die Sill fliessende Mühlbach *AB* (Fig. 118.)

Fig. 118.



Brennerbahn. — $^1/_{3000}$ n. Gr.

wurde nicht überbrückt, sondern mit einem Damme *DEFG* überschüttet, nachdem der Bach durch einen Bachtunnel *AC* abgelenkt worden war. In Folge des im Jahre 1872 eingetretenen plötzlichen Schmelzens des in enormen Mengen angehäuften Schnees stürzten gewaltige Wassermengen im Mühlbache nieder und die mitgeführten Baumstämme und Steine verlegten den Bachtunnel trotz seines *14*□^{m} grossen Profiles. Das Wasser sammelte sich vor dem Damme an und stieg bis über die Planie. Ein Theil des Wassers floss durch den angrenzenden Eisenbahntunnel ab, während ein anderer über den *23*^{m} hohen Damm stürzte und denselben allmählig abspülte; in 20 Stunden entstand ein Ausriss von *13*^{m} Tiefe. Man ersetzte den Damm anfänglich durch ein Holzprovisorium, später durch eine eiserne Brücke von *14,4*^{m} Lichtweite, um ähnlichen Katastrofen vorzubeugen.

XI. Kapitel.

Konstruktion im Allgemeinen.

§. 122. Wahl des Böschungswinkels. Die Dämme und Einschnitte sind an und für sich höchst einfache Konstruktionen. Sie sind durch ihre Höhe oder Tiefe, die sogenannte Planiebreite und den Böschungswinkel meist bestimmt. Die Höhe oder Tiefe ergibt sich durch die für den speciellen Zweck nothwendige Höhenlage der Planie, und durch die Rücksicht auf möglichst geringe Kosten, worüber weiter beim „Trassiren“ gesprochen wird. Die Planiebreite wurde bereits beim „Oberbaue“ besprochen. Es erübrigt hier also nur eine Besprechung der Böschungen (franz. *les talus*, engl. *the slope*), insbesondere der Wahl des Böschungswinkels (franz. *l'inclinaison du talus*, engl. *the gradient of slope*), von welchem die Stabilität des Erdbauwerkes hauptsächlich abhängt. Die Umstände, welche hier Einfluss haben, sind:

1. Die Reibung, welche durch den Reibungswinkel oder natürlichen Böschungswinkel (franz. *l'angle du frottement*, engl. *the angle of repose* oder *of natural slope*) bestimmt ist. Wie bereits in §. 115 bemerkt wurde, herrscht hierin bei den trockenen Materialien keine grosse Verschiedenheit.

2. Die Kohäsion (franz. *la cohésion*, engl. *the cohesion*). Aufträge erlangen zwar durch das Stampfen und das allmählig eintretende Setzen einige Kohäsion; jedoch ist darauf wenig Rücksicht zu nehmen. Hauptsächlich tritt die Kohäsion in gewachsenem Boden auf. Man kann daher die Böschungen der Einschnitte im Allgemeinen steiler anlegen, als die der Aufträge. Sand und Kies zeigen auch in Einschnitten meist nur eine geringe Kohäsion, so dass hier keine steilere Böschung zulässig ist. Gerölle kann eine sehr verschiedene Kohäsion zeigen, indem es vom losen Gerölle in festes Gerölle oder Konglomerat übergeht. Lehm und Thon besitzen oft eine grosse Kohäsion, so dass man sie sehr steil böschen kann, wenn sie im Innern vom Wasser verschont bleiben. Nicht selten findet sich die feste Erde erst in einiger Tiefe, so dass alsdann bei derselben Böschung verschiedene Böschungswinkel anzuwenden sind.

3. Die Erschütterungen. Dieselben wirken in der in §. 118, 9. bezeichneten Weise. Je grösser die Erschütterungen sind, desto flacher muss man hiernach die Böschung halten. Bei Strassen sind die Erschütterungen nicht so bedeutend, als bei Eisenbahnen, so dass man hier die Böschungen etwas steiler halten kann. Selbst bei Eisenbahnen mit sehr langsam verkehrenden Zügen kann man etwas steiler böschen als auf Bahnen mit grosser Geschwindigkeit.

4. Die Höhe. Wenn keine Kohäsion vorhanden ist, so ist nach §. 105 die Höhe ohne Einfluss. Es ist dies auch leicht ohne Theorie einzusehen, denn in demselben Verhältnisse, in welchem bei wachsender Höhe das Gewicht des abrutschenden Prismas wächst, wächst auch die Reibung. Das Gewicht des abrutschenden Prismas ist bei gleicher Böschung proportional dem Quadrate der Höhe, während die Kohäsion oder die Breite der Rutschfläche nur der ersten Potenz der Höhe proportional ist. Um Gleichgewicht herzustellen, muss also bei wachsender Höhe eine Verminderung des Gewichtes des abrutschenden Prismas, d. i. eine Verminderung des Böschungswinkels eintreten. Ist Kohäsion vorhanden, so kann man also die Böschung um so steiler anlegen, je niedriger die Böschung ist. Eine noch grössere Verminderung des Volumens des Auf- und Abtrages und der Breite des einzulösenden Bodens würde eintreten, wenn man die Böschungen nach Maassgabe der §§. 108. und 109. krümmen oder mit variabler Neigung anlegen würde (Fig. 120). In Einschnitten wendet man dieses Mittel fast nie an, obwohl es sich, wenn es sich um möglichste Reduktion der Kosten handelt, empfehlen würde. In Aufträgen wendet man gekrümmte Böschungen nur zuweilen bei Steinschüttungen an, worüber später.

5. Die Belastung. Wenn keine Kohäsion vorhanden ist, so ist

nach §. 105 auch die Belastung der oberen Fläche ohne Einfluss, denn in demselben Verhältnisse, als sich hierdurch das Gewicht des abrutschenden Prismas ändert, ändert sich auch die Reibung in der Gleitfläche. Ist aber Kohäsion vorhanden, so ändert sich die Kohäsion in der Gleitfläche nicht, mithin muss, um Gleichgewicht herzustellen, das Gewicht des abrutschenden Prismas durch eine flachere Böschung vermindert werden. Hier muss also die Böschung um so flacher gehalten werden, je grösser die Belastung ist. Dies ist z. B. zu beachten bei Einschnitten in Wäldern, wenn Häuser nahe an der Böschung stehen, wenn Seitenablagerungen vorhanden sind u. s. w.

6. Das Wasser. Wenn die Erde vom Wasser durchzogen wird, so wird die Kohäsion und die Reibung vermindert, so dass eine flachere Böschung als bei trockenem Materiale anzuwenden ist. Namentlich hat das Wasser Einfluss bei feinem Sande, den das Wasser in Triebsand verwandelt, sowie bei thonigem, namentlich aber bei lehmigem Boden. Hiernach würde die Böschung auch an ruhendem oder fliessendem Wasser flacher zu halten sein, als im Trockenen. Hier können indess auch bei sehr flachen Böschungen Einstürze entstehen, wenn nicht anderweite Befestigungen angelegt werden, namentlich in Folge der Strömung des Wassers, durch den Wellenschlag, durch das Eis und beim schnellen Sinken des Wasserstandes, wobei das Wasser aus der Erde mit grosser Geschwindigkeit zurückströmt und Erde mit fortreisst (vergl. §. 118, 7).

7. Der Frost. Eine Verminderung der Kohäsion tritt auch an der Oberfläche durch den Frost ein, indem sich das Wasser bekanntlich beim Gefrieren ausdehnt. Der Frost wirkt auch dadurch, dass er das Auftreten des Wassers verhindert, so dass er die Ansammlung einer grossen Wassermenge im Innern ermöglicht, die das Material erweicht.

8. Die Verwitterung. Die Verwitterung gibt sich hauptsächlich in der Verminderung der Kohäsion kund. Sie wird zum Theil durch das Wasser und den Frost veranlasst, so dass die beiden vorigen Punkte auch hierher gehören würden; aber auch durch die Luft und durch die entstehende Vegetation. Bei Gesteinen, welche leicht verwittern, namentlich bei Mergeln, mergeligen Kalksteinen und Thonschiefern, ist daher auf die Kohäsion kein sehr grosses Gewicht zu legen.

9. Die Bedeckung. Die Bedeckung ermöglicht im Allgemeinen eine steilere Böschung, 1) indem sie sich dem Abrutschen der Erdmasse durch ihr Gewicht entgegensetzt (Steinpflaster), 2) indem sie beim Abrutschen erst durchbrochen werden muss (Rasen, Flechtzäune), 3) indem beim Abrutschen erst ein Verschieben nach oben eintreten muss (Steinpflaster). Am wenigsten wirkt in dieser Hinsicht eine Rasendecke, am meisten eine Pflasterung. Die Bedeckung wirkt aber auch in so fern

günstig, als sie das Wasser und die Luft abhält und somit die unter 6., 7. und 8. besprochenen Einflüsse des Wassers, Frostes und der Verwitterung mindert.

§. 123. Zahlenangaben für den Böschungswinkel. Der zu wählende Böschungswinkel α lässt sich durch den natürlichen Böschungswinkel φ annähernd durch folgende Regeln bestimmen:

Aufträge.

Im Trocknen	*Unbedeckt*	$\cot\alpha = 1{,}20 \cot\varphi$,
	Berast . .	$\cot\alpha = 1{,}15 \cot\varphi$,
	Gepflastert	$\cot\alpha = 1{,}10 \cot\varphi$,
Am Wasser	*Unbedeckt*	$\cot\alpha = 1{,}40 \cot\varphi$,
	Berast . .	$\cot\alpha = 1{,}35 \cot\varphi$,
	Gepflastert	$\cot\alpha = 1{,}30 \cot\varphi$,

Abträge.

Im Trocknen	*Unbedeckt*	$\cot\alpha = 1{,}15 \cot\varphi$,
	Berast . .	$\cot\alpha = 1{,}10 \cot\varphi$,
	Gepflastert	$\cot\alpha = 1{,}05 \cot\varphi$.

Hiernach ist mit Rücksicht auf die in §. 115 angegebenen Werthe für $\cot\varphi$ die folgende Tabelle für $\cot\alpha$ berechnet:

Art der Böschung	*Feiner Sand*	*Kies, Dammerde*	*Lehm, Thon, Gerölle*	*Steinschüttung*
Mittelwerth von $\cot\varphi =$	*1,6*	*1,4*	*1,3*	*1,0*
Aufträge im Trocknen				
unbedeckt	*1,90*	*1,70*	*1,60*	*1,20*
berast	*1,85*	*1,60*	*1,50*	*1,15*
gepflastert	*1,75*	*1,55*	*1,45*	*1,10*
Aufträge am Wasser				
unbedeckt	*2,25*	*1,95*	*1,80*	*1,40*
berast	*2,15*	*1,90*	*1,75*	*1,35*
gepflastert	*2,05*	*1,80*	*1,70*	*1,30*
Abträge				
unbedeckt	*1,85*	*1,60*	*1,50*	—
berast	*1,75*	*1,55*	*1,45*	—
gepflastert	*1,70*	*1,45*	*1,35*	—

Auf die Kohäsion ist hierbei noch keine Rücksicht genommen, so dass man die Einschnittsböschung bei kohärenter Erde entsprechend steiler halten kann. Bei der Berechnung des Böschungswinkels nach §. 106 ist für Dammerde $h_0 = 0$ *bis* 1^m, für Thon und Lehm $h_0 = 0$ *bis* 3^m und für Gerölle $h_0 = 0$ *bis* $7{,}5^m$ einzuführen.

Für den Lehm- und Thonboden ist volle Trockenheit vorausgesetzt, so dass hier die Angaben für Böschungen am Wasser nicht gelten. Ebenso wurde auf die Strömung, den Wellenschlag und den Eisstoss keine Rücksicht genommen. Ist der Lehm- oder Thonboden ganz vom Wasser durchzogen, also in mehr oder minder breiigem Zustande, so kann eine *2 bis 3fache* Böschung genügen; oft aber hat sich selbst eine *5fache* Böschung noch nicht als stabil erwiesen.

Bei sehr vielen Bahnen legt man die Böschungen im Auf- und Abtrage im Allgemeinen **$1\frac{1}{2}$fach** an. Bei anderen Bahnen, namentlich französischen Bahnen, werden die Aufträge im Allgemeinen **$1\frac{1}{2}$fach**, die Abträge im Allgemeinen **$1\frac{1}{4}$** oder **1fach** angelegt. Bei manchen Bahnen werden aber auch die Aufträge bei geeignetem Material *$1\frac{1}{4}$fach* angelegt.

Bei einzelnen Bahnen ist auch die Höhe berücksichtigt. So hat man z. B. auf einigen französischen und belgischen Bahnen in Einschnitten bei *0 bis 4*^{m} Höhe *1fache*, bei *4 bis 8*^{m} Höhe *$1\frac{1}{4}$fache*, bei noch grösseren Höhen *$1\frac{1}{2}$fache* Böschungen angewendet. Ebenso sind z. B. bei einzelnen österreichischen Bahnen für Aufträge bei *0 bis 3*^{m} Höhe *$1\frac{1}{4}$fache*, bei grösserer Höhe *$1\frac{1}{2}$fache* Böschungen angewendet.

In losem Felsen kann man *1 bis $\frac{1}{3}$fache*, in festem Felsen *$\frac{1}{5}$fache* bis vertikale Böschungen anwenden.

Die Böschung steil anzulegen und abzuwarten, ob sich dieselbe hält, ist im Allgemeinen nicht zu rathen, da hierdurch Veranlassung zu starken Erdrutschungen gegeben werden kann, deren Reparatur viel höher zu stehen kommt, als eine im Vorhinein flach angelegte Böschung.

Bei sehr kleiner Verkehrsgeschwindigkeit (etwa im Maximum 20 Kilometer pro Stunde) kann man die Böschungen im Allgemeinen etwas steiler halten, als bei der oben vorausgesetzten grossen Geschwindigkeit; so wird man häufig in Abträgen **1fache** statt *$1\frac{1}{4}$fache*, in Aufträgen **$1\frac{1}{4}$fache** statt *$1\frac{1}{2}$fache* Böschungen anwenden können.

Anmerk. Man nennt eine Böschung *m-fach*, *m-malig* oder *m-füssig*, wenn ihre horizontale Breite das mfache der Höhe beträgt oder wenn $\cot \alpha = m$ ist. Das Wort *füssig* kann man rechtfertigen, weil die Breite, die man auch Böschungsfuss nennt, das mfache der Höhe beträgt oder weil die Böschung auf *1 Fuss* Höhe *m Fuss* Breite hat. Nach der ersten Erklärung wäre das Wort füssig auch nach Einführung des Metermaasses gerechtfertigt. Jedoch haben wir, um hierin keinen Anstoss zu erregen, das Wort m-fach gebraucht.

§. 124. Bermen. Zuweilen legt man die Böschungen terrassenförmig an und nennt alsdann die zwischen den einzelnen Böschungen liegenden mehr oder minder horizontalen Flächen Bermen (franz. *la berme, la retraite*, engl. *the sett-off, the retreat*). Der Zweck der Bermen ist:

1. Sie brechen den Fall des herabströmenden Wassers, mindern somit die Geschwindigkeit, also auch den Angriff des Wassers auf die Böschungen.

2. Sie halten die abgelösten und herabrollenden Erdtheilchen zurück und verhindern somit, dass dieselben in die Gräben gelangen, wo sie den Abzug des Wassers hindern würden.

3. Sie gestatten ein leichteres Begehen der Böschungen, was bei der Reparatur derselben, beim Mähen des Grases, bei der Pflege etwaiger Obstbäume etc. von Werth ist.

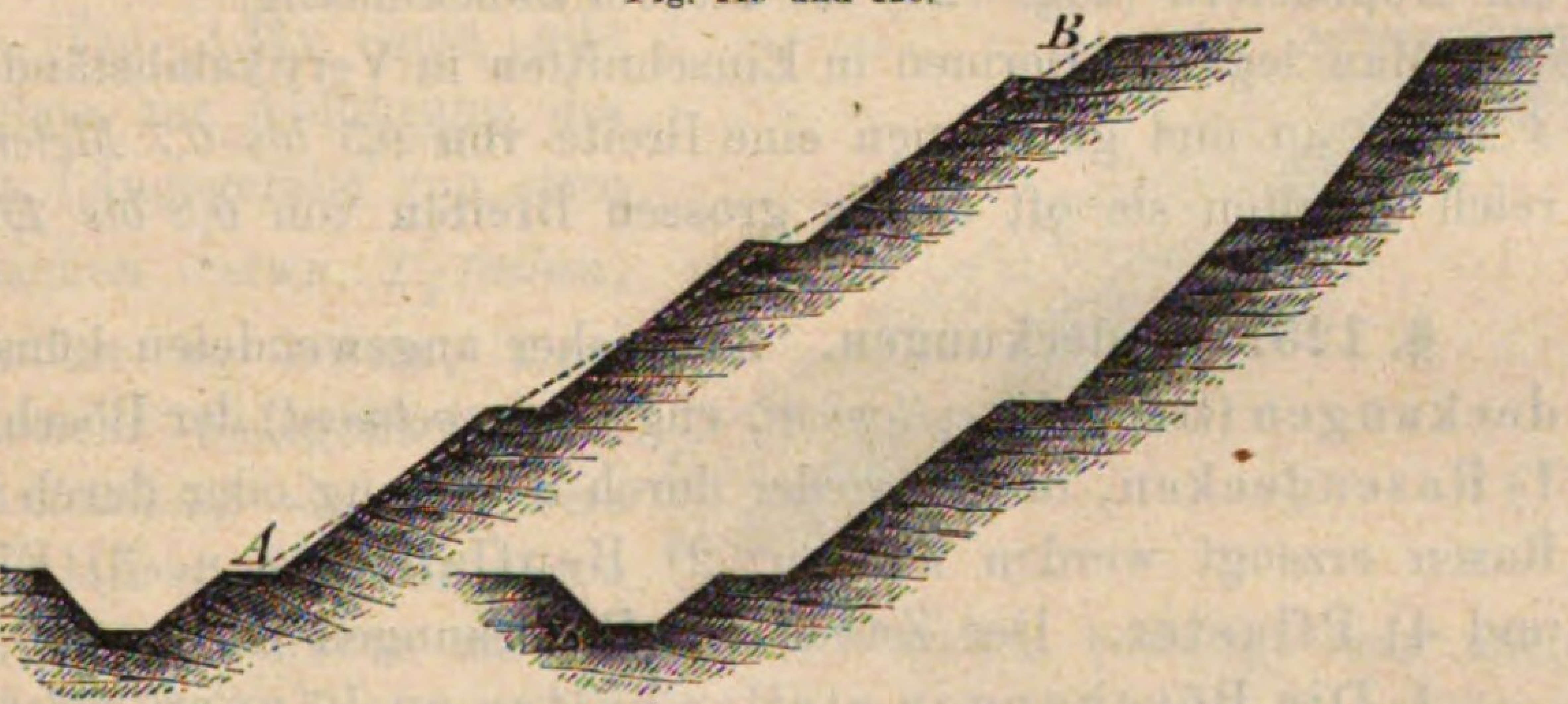
4. Sie bilden ein Mittel, leicht Baumpflanzungen anlegen zu können.

5. Sie geben den Bedeckungen, also dem Rasen oder Pflaster, einzelne sichere Stützpunkte.

Die Bermen haben dagegen folgende Nachtheile:

1. Bei nicht kohärenter Erde vertheuern sie die Anlage, indem eine grössere Grundfläche einzulösen ist und die Auf- oder Abtragsmasse grösser wird. Bei genügend kohärenter Erde aber verhält es sich anders. Durch das Material ist hier nur die mittlere oder durchschnittliche Böschung AB (Fig. 119) bestimmt, da das Gewicht des abrutschenden Prismas bei Anwendung von Bermen

Fig. 119 und 120.



ebenso gross ist, als bei Anwendung der ebenen Böschung AB; die einzelnen Absätze aber können der geringeren Höhe wegen steiler angelegt werden. Jedenfalls sind deshalb Bermen in Einschnitten mehr gerechtfertigt, als in Aufträgen. Meistentheils hat man auch nur in Einschnitten Bermen angewendet; bei Aufträgen hat man sie entweder ganz weggelassen oder in grösseren Entfernungen angeordnet.

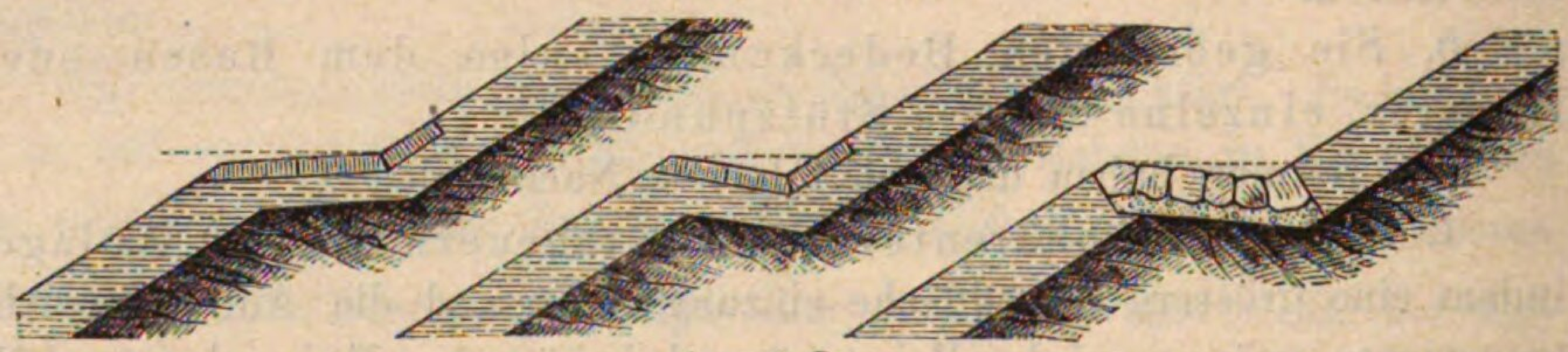
2. Sie hindern den schnellen Wasserabzug. Das Wasser hält sich längere Zeit auf der Böschung auf und dringt, namentlich an

den Bermen, in die Erde ein und kann dadurch Zerstörungen der Böschungen veranlassen. Diesem Uebelstande kann allerdings mit Erhöhung der Kosten durch eine Abwässerung vorgebeugt werden.

Jetzt wendet man die Bermen nicht mehr so oft an, als früher, wo sie, namentlich in Frankreich und Deutschland, sehr üblich waren. In Oesterreich und England sind sie überhaupt nur sehr selten angewendet worden.

Die Bermen werden häufig ganz horizontal angelegt. Jedoch ist es besser, ihnen eine Neigung von $\frac{1}{5}$ *bis* $\frac{1}{8}$ nach vorn (Fig. 121) oder nach hinten (Fig. 122 und 123) zu geben, um das Wasser möglichst schnell abzuführen. Im letzteren Falle muss man den Bermen ein Längsgefälle von $\frac{1}{50}$ *bis* $\frac{1}{30}$ geben; an den tiefsten Stellen münden alsdann die Bermen in offene Mulden, welche quer über die Böschungen gehen. Ein Ab-

Fig. 121, 122 und 123.



$^1/_{50}$ nat. Gr.

decken mit Rasen (Fig. 121 und 122) oder bei Lehm- oder Thonboden ein Abpflastern (Fig. 123) ist hierbei zweckmässig.

Man legt die Bermen in Einschnitten in Vertikalabständen von *2 bis 4 Meter* an und gibt ihnen eine Breite von *0,5 bis 0,7 Meter;* in Frankreich erhalten sie oft die zu grossen Breiten von *0,8 bis 1,0 Meter.*

§. 125. Bedeckungen. Die bisher angewendeten künstlichen Bedeckungen (franz. *le revêtement*, engl. *the revetment*) der Böschungen sind: 1) Rasendecken, die entweder durch Besamung oder durch Belegen mit Rasen erzeugt werden können, 2) Bepflanzungen, 3) Flechtzäune und 4) Pflaster. Der Zweck der Bedeckungen ist:

1. Die Böschungen steiler halten zu können, oder wenigstens bei gleicher Steilheit ein Abrutschen weniger leicht möglich zu machen.

2. Das Eindringen des Wassers, des Frostes und der Luft zu verhüten oder zu mässigen und hiermit die bereits erwähnten schädlichen Folgen dieses Eindringens zu verhüten.

3. Das Ablösen und Herabrollen kleiner Erdtheilchen durch Erschütterungen zu hindern.

4. Die Beschädigung durch fliessendes Wasser, durch das Eis und durch den Wellenschlag zu verhindern.

5. Das Wegwehen von feinem Sande zu verhindern, weil

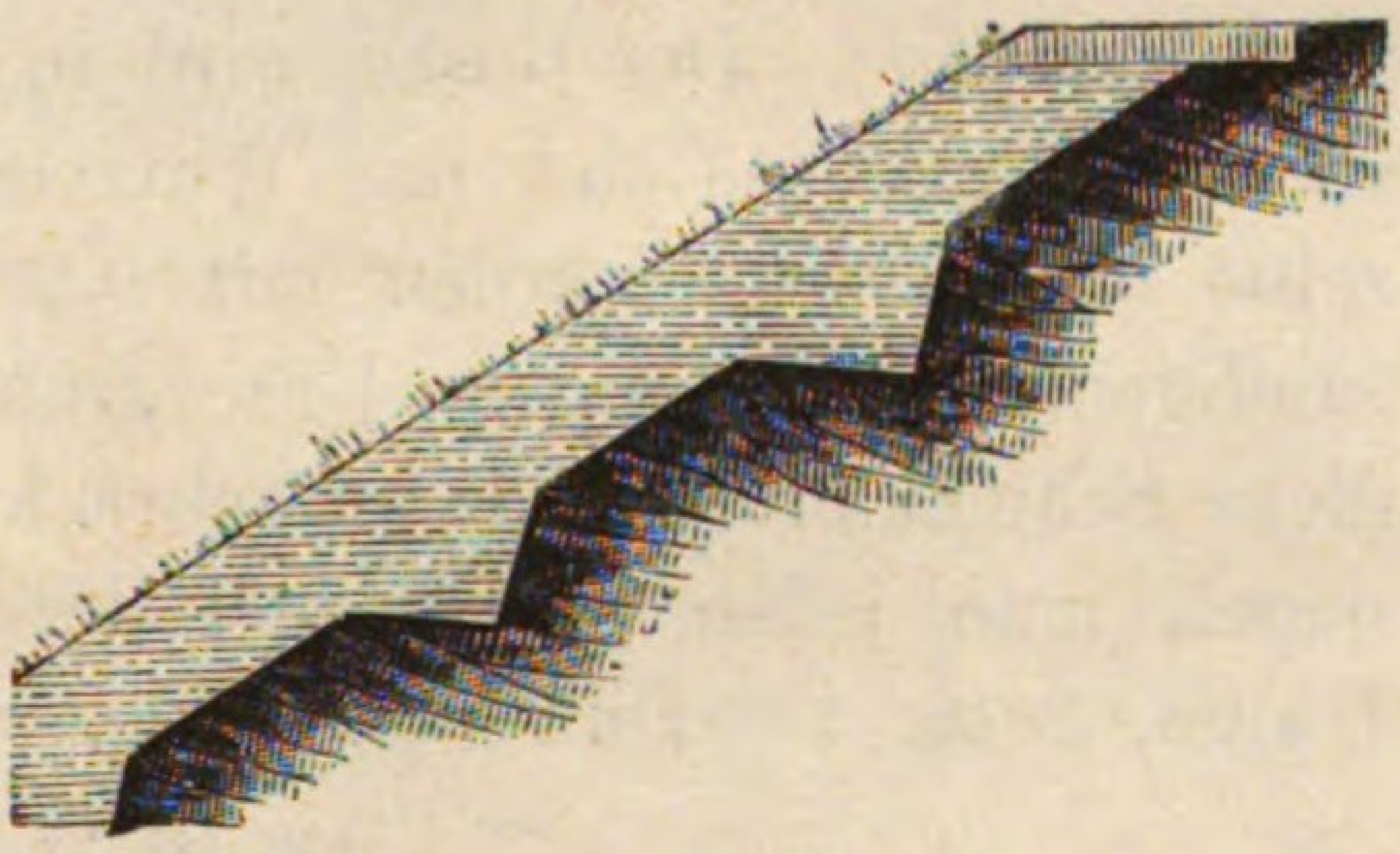
hierdurch die Einschnittsbreite allmählig vergrössert, das reisende Publikum belästigt und der Mechanismus der Lokomotiven ruinirt wird.

6. Ein Erträgniss an Gras, Heu und Obst zu bieten.

7. Ein angenehmeres Aussehen zu gewähren. Häufig legt man auf diesen Umstand zu wenig Werth, indem man die Böschungen in einem liederlichen, auf den Reisenden einen betrübenden Eindruck machenden Zustande belässt. Namentlich hält man es oft nicht der Mühe werth, Seitenablagerungen und Materialgruben ein anständiges Aeussere zu geben. Die Bahn in dieser Hinsicht in Ordnung zu erhalten, ist gewiss ebenso gerechtfertigt, als der Werth, welchen man auf schöne Stationsgebäude und reiche Ausstattung von Brücken und Tunnelportalen legt.

§. 126. Die Besamung (franz. *l'ensemencement*, engl. *the sowing*). Zum Gedeihen der Besamung ist eine vegetabilische oder Muttererde erforderlich. Besteht die Böschung nicht aus solcher Erde, so muss Muttererde in einer Dicke von *0,15 bis 0,25*, selbst *0,30 Meter* aufgebracht werden. Je weniger der Untergrund zum Gedeihen tauglich ist, desto grösser ist die Dicke zu wählen. Auf thonigem und lehmigem Boden rutscht die Erde der Schlüpfrigkeit dieser Erdarten wegen leicht ab; man verhindert dies durch Anlage von kleinen Einschnitten oder Furchen (franz. *le sillon*, engl. *the furrow*) mit dreieckigem Querschnitte von etwa *0,20*^{m} Tiefe und *1 bis 2*^{m} Entfernung (Fig. 124); man gibt diesen Furchen zur Abführung des Wassers ein Längsgefälle von etwa $\frac{1}{10}$. Bei flachen (etwa $1\frac{1}{2}$ *fachen*) Böschungen ist es besser, diese Furchen, welche Gelegenheit zum längeren Aufenthalt des Wassers bieten, wegzulassen. Bei Aufträgen wendet man keine Furchen an. Statt der Furchen befestigt man auch Rasen durch Pfähle in horizontalen Streifen oder gitterartig in schrägen Streifen auf den Böschungen und füllt die so gebildeten Felder mit Muttererde aus. Die Erde wird in horizontalen oder etwas nach hinten geneigten Schichten gestampft. Böschungen, welche steiler als *1-fach* sind, lassen sich nicht mit Muttererde bedecken. Selbst bei *1-fachen* Böschungen hält dieselbe nicht besonders gut und auch die Grasnarbe wird nicht schön.

Fig. 124.



Als Saat verwendet man namentlich Gras und kurzen Klee. Am besten säet man bei nasser Witterung. Im Sommer angelegte Besamungen gedeihen meist schlecht; oft hat man indess durch Beimengung von

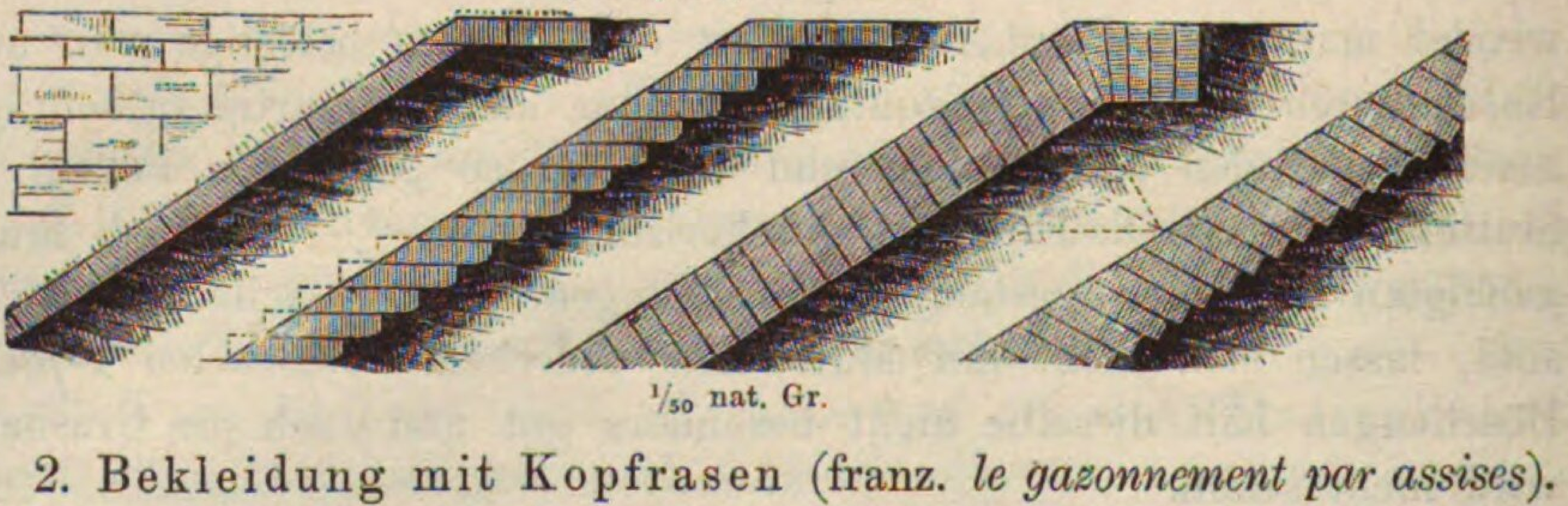
Hafer, welcher schnell aufgeht und die übrigen Gräser durch seinen Schatten schützt, auch im Sommer eine Grasnarbe erzielt. Auf thonhaltigem Boden gedeiht die Luzerne. Auf schlechtem Boden wendet man Quecke an, die fast überall gedeiht; man pflanzt meist die Wurzeln derselben in kleine, 7^{cm} tiefe Gräben oder in einzelne Löcher. Oft mischt man mehrere Samenarten, um hierdurch den verschiedenen Bodengattungen und der verschiedenen Lage gegen die Sonne mehr Rechnung zu tragen. Henz schlägt z. B. vor: 28 Th. Thimotengrassamen, 27 Th. Reigrassamen, 15 Th. gelben Kleesamen, 15 Th. weissen Kleesamen und 15 Th. Luzernsamen.

Die Besamung gedeiht schon bei *1*-facher Böschung nicht mehr ganz gut, bei steileren Böschungen aber schlecht.

§. 127. Belegen mit Rasen. Eine Bedeckung mit Rasen (franz. *le gazon*, engl. *the green sward*) wird angewendet, wenn es sich um einen möglichst schnellen Schutz handelt und wenn sich guter Rasen auf dem einzulösenden Terrain ohnehin vorfindet. Der Rasen wird in Stücken von $0{,}07$ *bis* $0{,}10^{m}$ Dicke und $0{,}25$ *bis* $0{,}40^{m}$ Breite und Länge, die man wohl auch Rasenziegel (franz. *la motte de gazon*, engl. *the sod, the sward*) nennt, gestochen. Er muss möglichst bald nach dem Abstechen verwendet werden. Man unterscheidet zwei Arten der Bekleidung, nämlich:

1. Bekleidung mit Deck- oder Flachrasen (franz. *le gazonnement à plat*). Der Rasen wird in horizontalen Schichten im Verbande so aufgelegt, dass sich das Wurzelende unten befindet (Fig. 125); einzelne Rasenstücke werden mit $0{,}3^{m}$ langen Pflöcken festgenagelt. Bei sandigem und steinigem Untergrunde muss vorher eine $0{,}10$ *bis* $0{,}20^{m}$ dicke Schicht Muttererde aufgebracht werden. Bei steileren Böschungen nagelt man jeden Rasenziegel durch einen Holzpflock von etwa 30^{cm} Länge, 2 *bis* 3^{cm} Dicke fest.

Fig. 125, 126, 127 und 128.



$^{1}/_{50}$ nat. Gr.

2. Bekleidung mit Kopfrasen (franz. *le gazonnement par assises*). Hier werden die Rasenstücke so übereinander geschichtet, dass die Grasnarbe die Trennungsfuge bildet; das Wurzelende wird hierbei nach oben gekehrt. Man ordnet die Rasen entweder horizontal (Fig. 126)

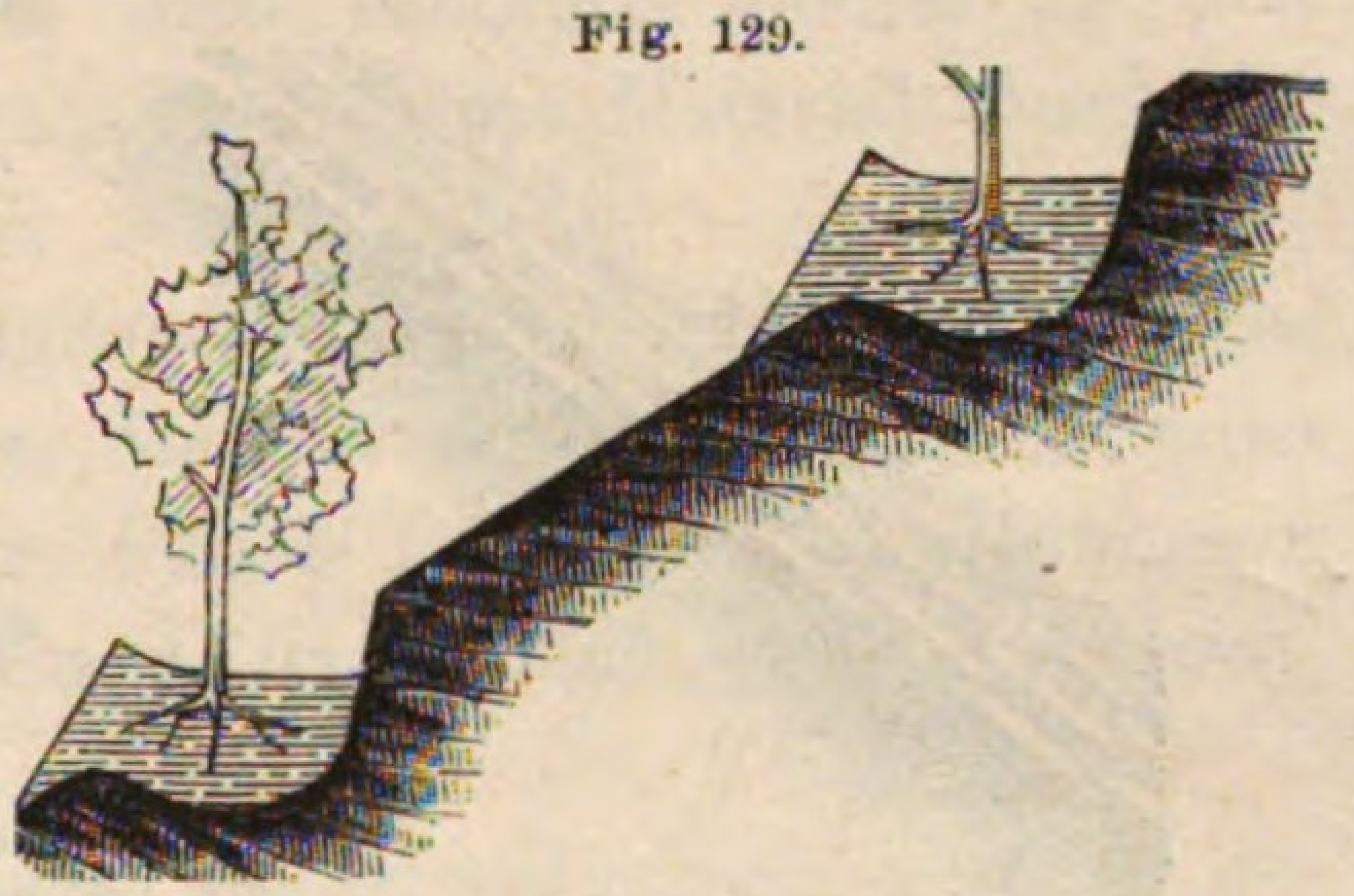
oder senkrecht zur Böschung (Fig. 127) oder in einer mittleren Lage (Fig. 128) an. Die letztere Anordnung dürfte wohl die beste sein, da bei der ersten Anordnung der Rasen leichter abrutscht und bei der zweiten Anordnung mehr Rasen gebraucht wird.

Der Bedarf an Rasen ist bei dieser Methode grösser, als bei der vorigen; jedoch gewährt diese Bedeckung einen besseren Schutz und gestattet eine steilere Böschung, als der Deckrasen. Man wendet sie fast nie in Einschnitten, zuweilen bei Aufträgen, wo der Flachrasen durch das Setzen stark leiden kann, sowie häufig bei Ausbesserungen abgerutschter Böschungen und zur Bildung von Erdkegeln an Brücken etc. an.

Die obersten Kanten sind immer so anzuordnen, dass das vom anliegenden Terrain herabströmende Wasser nicht leicht unter den Rasen gelangen kann.

§. 128. Bepflanzungen. Die Bepflanzung (franz. *le boisement*, engl *the plantation*) der Böschungen mit Strauchwerk und Bäumen (Fig. 129) hat den Nachtheil, dass das Austrocknen der Böschungen und der Planie durch die Sonne und den Luftzug verzögert wird. In Gegenden mit feuchtem Klima werden sich daher Pflanzungen als nicht sonderlich zweckmässig erweisen, während da, wo eine Grasnarbe wegen der Beschaffenheit des Bodens und der Sonnenhitze nicht gedeiht, wo aber immer noch Strauch- und Baumarten durch das tiefe Eindringen ihrer Wurzeln eine gute Befestigung erzeugen, eine Bepflanzung rathsam sein kann.

Fig. 129.



Indess sind die Bepflanzungen theils ihres Erträgnisses, theils der dadurch erzielten Befestigung wegen, auch in anderen Fällen angewendet worden. Namentlich sind die Pflanzungen in Frankreich viel in Anwendung gekommen; in Deutschland wurden sie weniger und in England fast gar nicht angewendet.

Am Wasser bieten die Pflanzungen Schutz gegen Beschädigung durch den Wellenschlag und durch das Eis. Hier sind sie also ganz am Platze.

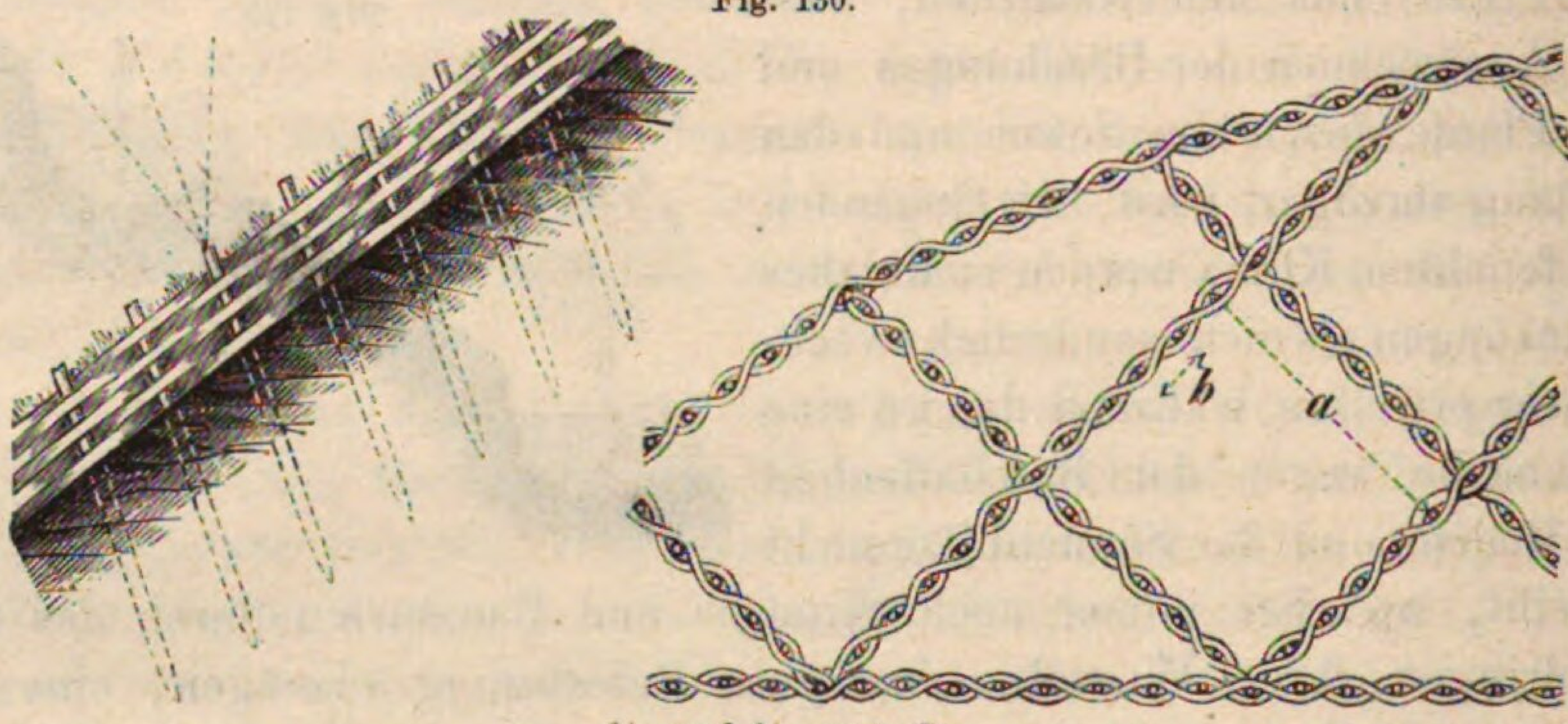
Für trocknen Boden eignen sich Ahorn, Akazie, Birke, Esche, Fichte und Obstarten, für feuchten Boden: Erle, Hainbuche, Ulme und namentlich Weide.

§. 129. Flechtzäune. Die Flechtzäune (franz. *le clayonnage*, engl. *the wattling*, *the wicker-work*) bestehen aus eingeschlagenen Pfählen, welche durch ein Flechtwerk von Reissig verbunden sind (Fig. 130).

Die Flechtzäune haben den Zweck: 1) eine Befestigung der Böschung zu erzielen, indem die obere Decke mehr zu einem zusammenhängenden Ganzen verbunden wird, 2) die zwischen den Zäunen aufgebrachte Muttererde fest zu halten, 3) herabrollende Massen aufzuhalten. Man kann durch Anwendung von Flechtzäunen oft *1-fache* Böschungen erhalten, welche ohne diese sich nicht erhalten würden.

Die Zäune horizontal anzuordnen, ist zur Erfüllung des ersten und zweiten Zweckes nicht zweckmässig; denn tritt an einer Stelle eine Lockerung des Bodens oder eine Tendenz zum Abrutschen ein, so wird der horizontale Zaun viel leichter durchbrochen, als wenn die Zäune geneigt angeordnet sind, wodurch die in verschiedener Höhe liegenden Erdmassen mehr zu einem Ganzen verbunden werden, also eine mehr zusammenhängende Decke entsteht. Am besten aber wirken die netzförmig angelegten Flechtzäune (Fig. 130). Nur wenn es sich hauptsächlich um das Aufhalten herabrollender Massen (namentlich bei losem Felsen) handelt, sind horizontale Zäune zweckmässig.

Fig. 130.



$^1/_{50}$ und $^1/_{100}$ nat. Gr.

Je nach der Beschaffenheit des Bodens erhalten die Pfähle *4 bis 10*^{cm} Dicke, *0,6 bis 2,0*^{m} Länge, wobei sie etwa auf *0,6* ihrer Länge eingetrieben werden. Der Abstand der Pfähle ist etwa *0,3*^{m} anzunehmen. Die Maschen des netzförmig angelegten Flechtzaunes sind in der Regel Quadrate mit einer Seitenlänge von *1,2 bis 5,0 Meter;* je kohärenter die Erde ist, desto grösser kann man die Maschenweite nehmen. Im Allgemeinen dürfte *2 bis 3*^{m} Seitenlänge am geeignetsten sein. Die Pfähle schlägt man am besten so ein, dass sie den Winkel zwischen der Vertikalen und einer auf der Böschung senkrechten Geraden halbiren (Fig. 130).

Wählt man frisches Holz, namentlich Weide, so lässt sich bei geeignetem Boden ein Bestocken und durch das Wurzeltreiben eine grössere Festigkeit erzielen. Vielfach hat man Nadelholzreissig angewendet.

Flechtzäune wendet man auch als Schutz der Böschung am Wasser als sogen. Rauschen, Schlickfänge etc. an.

Die Flechtzäune sind namentlich in Oesterreich viel in Anwendung gekommen; am meisten bei Einschnittsböschungen.

§. 130. Pflasterung. Die Steinpflasterungen (franz. *la perrée, la pierrée, le pavé de pierre*, engl. *the stone-batter, the stone-pavement*) bilden zwar den sichersten, aber auch meist den kostspieligsten Schutz. Man wird sie daher nur da anwenden, wo es darauf ankommt, eine möglichst steile Böschung herzustellen, wie an Berglehnen, und wo es sich um Schutz gegen Wasser handelt, falls das Steinmaterial billiger ist, als ein anderer geeigneter Schutz. Man verwendet hierzu alle Steinsorten, selbst weichere, meist in unregelmässiger oder höchstens einigermassen regelmässig bossirter Form; in steinarmen Gegenden verwendet man auch hart gebrannte Ziegelsteine.

Der Fuss muss immer gut gegen ein Ausweichen geschützt sein; man verwendet hierzu möglichst grosse Steine, die etwas in das Terrain eingelassen sind.

Als Bettung des Pflasters wendet man sandigen Boden an; am Wasser kann man nur Kies verwenden, da feineres Material durch die Fugen herausgewaschen werden würde.

Um das Herausspülen des Bettungsmateriales zu verhindern, ist es zweckmässig, die Fugen zwischen den Steinen mit Moos auszustopfen oder noch besser, Rasenstreifen in die Fugen mit hölzernen Hämmern einzutreiben, welche meist gut fortkommen, namentlich wenn das Hochwasser Schlamm zurücklässt.

Dämme müssen sich, ehe man das Pflaster aufbringt, gehörig gesetzt haben.

Eingehender wird über die Pflanzungen, Flechtzäune und Steinschüttungen am Wasser im „Wasserbau" gesprochen. Die Herstellung der Besamungen, Berasungen und Bepflanzungen werden wir bei der „Ausführung der Erdbauten" besprechen.

XI. Kapitel.

Einschnitte.

§. 131. Abrutschungen. Die Ursachen der Abrutschungen wurden zum Theil schon in §. 117 genügend besprochen (zu steile Böschung, Wasser, welches über die Böschung fliesst oder auf dieselbe als Regen oder Schnee fällt, Frost, Verwitterung, Erschütterungen); hier wollen wir nur Einiges über den Einfluss des Wassers hinzufügen.

1. Wasserführende Schichten, welche namentlich durch Thon-

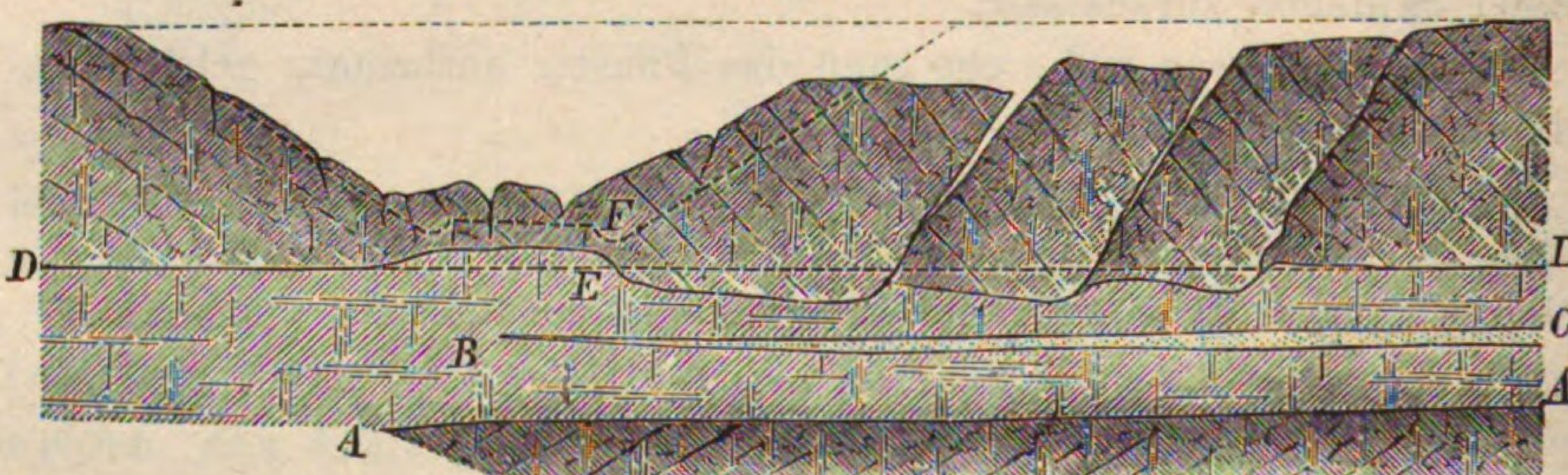
oder Lettenschichten entstehen, auf welchen durchlässiges Material, wie Sand, Kies, Lehm etc. lagert. Die Wirkung dieser wasserführenden Schichten wurde bereits in §. 117 besprochen.

Solcher wasserführenden Schichten treten in derselben Böschung oft mehrere zu Tage, indem Thon- und durchlässige Schichten abwechseln. Die wasserführende Schicht ist hierbei mehr oder minder dick; oft liegt zwischen zwei Thonbänken nur eine ganz dünne Sand- oder Lehmschicht; ja es kann eine Rutschfläche zwischen zwei Thonbänken entstehen, ohne dass eine durchlässige Zwischenschicht vorhanden ist. Es finden sich aber auch ganz dünne Thonschichten bis zu 1^{cm} herab, welche zwei durchlässige Schichten, z. B. zwei Sandschichten, eine Sandschicht und eine sandige Thonschicht u. s. w. trennen. Diese Rutschflächen sind in der Regel leicht beim Anlegen des Einschnittes zu erkennen.

Auch im Felsen kommen solche Rutschflächen vor, indem die Klüfte und Schichtungsfugen mit Thonschlamm ausgefüllt sind. Namentlich aber tritt häufig ein Abrutschen der über festem Felsen lagernden Erdmasse, die aus Lehm, Gebirgsschutt etc. bestehen kann, ein; bei starker Neigung der Trennungsfläche tritt dies selbst ein, auch wenn keine glitschige Thonschicht vorhanden ist.

Wenn die wasserführende Schicht unter der Einschnittssohle hinwegstreicht (Fig. 131), so kann sie ohne Nachtheil sein, wenn die Dicke *EF*

Fig. 131.



der festen Schicht hinreichend gross ist. Bei geringer Dicke kann die Sohle durchbrochen werden. Am leichtesten treten hier Rutschungen ein, wenn eine dickere Schicht (zwischen *AA* und *DD*) erweicht ist, da alsdann die Einschnittssohle leicht durch den Auftrieb durchbrochen wird (Fig. 131).

Die hier besprochenen Abrutschungen haben oft ungeheuere Dimensionen bis zu einer Breite von 2 Kilometer angenommen und sind hierdurch zuweilen verhängnissvoll für angrenzende Häuser oder ganze Ortschaften geworden.

2. Erweichung durch Wasser. Der Lehm, weniger der Letten,

sowie auch das Gerölle, welches mit thonigem und lehmigem Boden stark gemengt ist, kann vom Wasser theilweise oder ganz erweicht werden, so dass sich bedeutende Massenstürze und Quellungen bilden können.

Die durchweichte Erde kann die obere Schicht bilden; sie kann aber auch von festen Schichten überlagert werden, welche bei einem Ausweichen der weichen Schicht natürlich mit nachstürzen (Fig. 131).

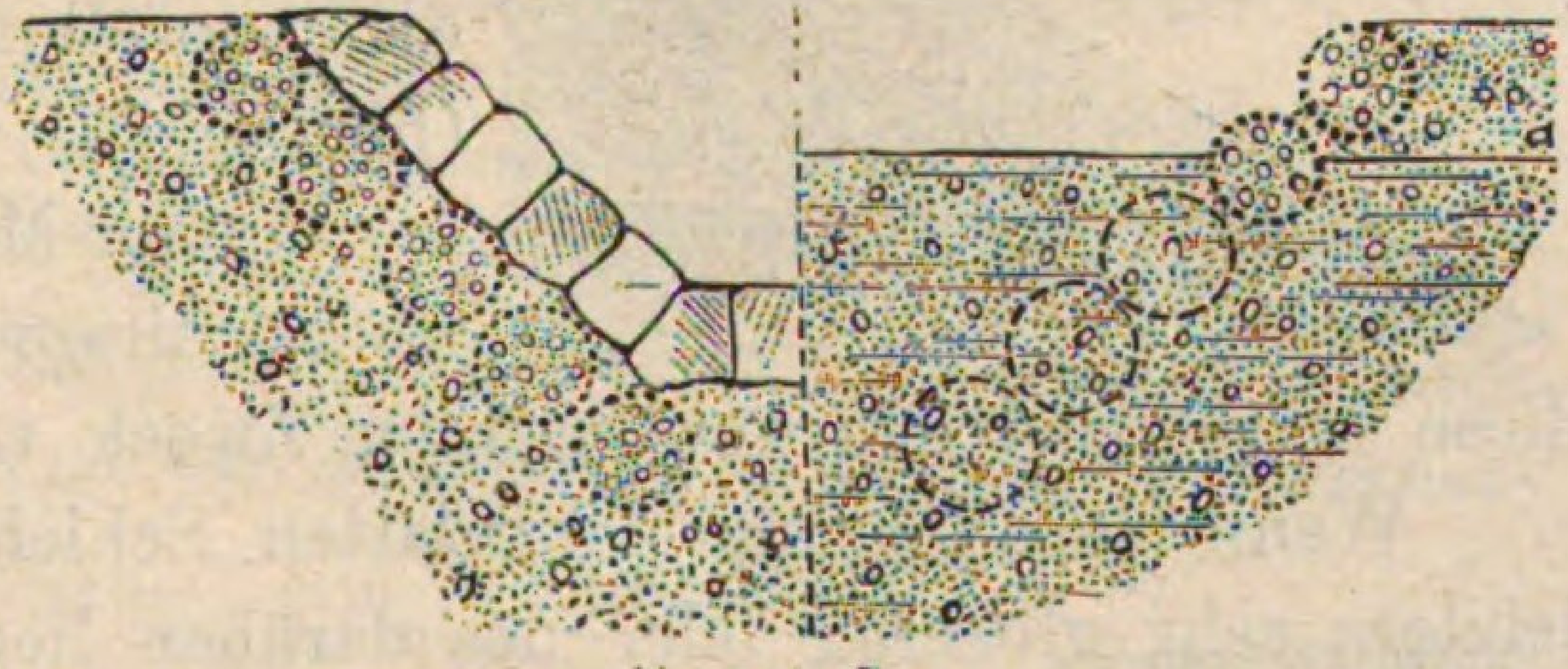
Lagert eine solche Schicht auf Thon, so können Quellungen und Grundabrutschungen gleichzeitig entstehen.

3. Schwimmender Boden, namentlich Triebsand, äussert sich in ähnlicher Weise, wie der durchweichte Boden, ist jedoch insofern viel günstiger, als er sich des Wassers viel leichter entledigt. Dieser Triebsand kann in mächtigen und auch sehr dünnen Schichten auftreten. Namentlich zeigt er sich in dünnen Schichten, welche dadurch entstehen, dass der Thon, auf welchem der Sand lagert, das Wasser nicht durchlässt. Bei Eröffnung eines Einschnittes in solchem Boden treten Einstürze namentlich dadurch ein, dass das aus dem Erdreiche in den Einschnitt tretende Wasser den Sand mit fortreisst; darüber liegende Schichten müssen alsdann natürlich nachstürzen. Liegt der Triebsand auch unter der Einschnittssohle, so wird derselbe durch den Auftrieb emporgetrieben (Fig. 131).

§. 132. Einschnitte in Sand, Kies, Gerölle. Diese Materialien sind auch hier die günstigsten, da in ihnen Abrutschungen am wenigsten zu befürchten sind. Eine Bedeckung mit Muttererde und eine Berasung ist auch hier, namentlich beim Sande, zu empfehlen.

Schwierigkeit bietet nur der Triebsand; entweder ist derselbe vor der Eröffnung des Einschnittes in der später zu besprechenden Weise zu entwässern, oder man muss bei Eröffnung des Einschnittes zur Anwendung von sogen. Kies- oder Steinfaschinen greifen, wie Fig. 132 (für einen Graben) zeigt. Zuerst wird der Sand möglichst schnell um die Tiefe einer Faschine ausgehoben und sodann die Faschine schnell eingelegt, wobei nun schon die Senkung des Wasserspiegels eintritt. Hierauf lässt sich der Sand abermals um eine Faschinentiefe ausheben und eine neue Faschine legen u. s. w. Die Möglichkeit der Durchführung beruht hierbei auf der allmähligen Senkung des Wasserspiegels und der

Fig. 132.



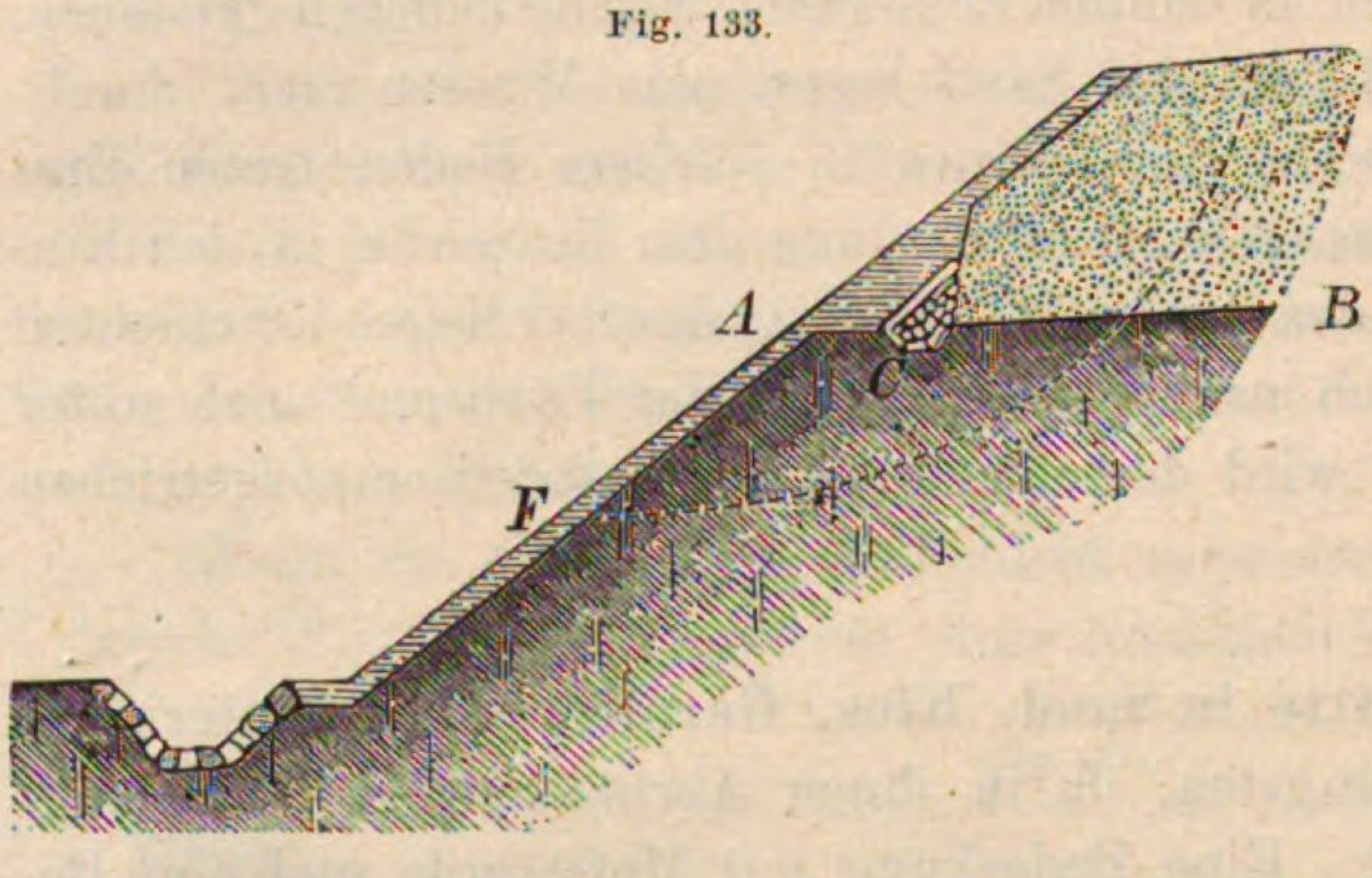
1/50 nat. Gr.

Anwendung der Faschinen als kleine Gegenbanketts. Die Faschinen werden nachträglich durch Pfähle befestigt und mit Muttererde und Rasen bedeckt.

Wenn sich der Triebsand auch unter der Einschnittssohle vorfindet, so ist eine besondere Entwässerung desselben bis zu einer hinreichenden Schutz bietenden Tiefe unbedingt nothwendig (vergl. §. 137).

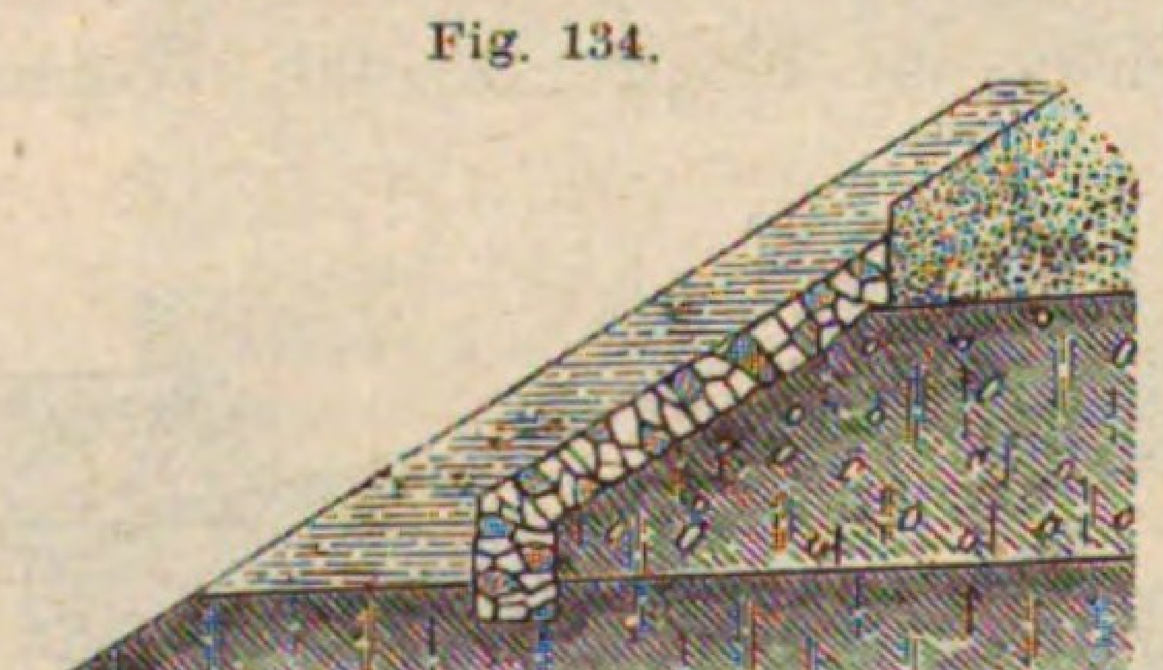
§. 133. Einschnitte in Boden mit wasserführenden Schichten. Wenn die Menge des Wassers keine bedeutende oder die Neigung der Schichten nicht sehr gross ist, so dass nur Abrutschungen an der Oberfläche oder Massenstürze nur in Folge des Verstopfens durch das Gefrieren zu befürchten sind, so wird man am besten am Austritte der wasserführenden Schicht einen Sickerkanal anlegen, der so tief unter der Böschungsfläche liegt, dass der Frost nicht eindringen kann, also mindestens *0,6*^{m} (Fig. 133). Die specielle Konstruktion dieser Sickerkanäle werden wir im letzten Kapitel besprechen.

Fig. 133.



Kommen mehrere solcher wasserführenden Schichten vor, so wird man natürlich für jede Schicht immer einen Sickerkanal anlegen. Liegen die Sickerschichten sehr nahe oder sickert das Wasser in einer Schicht von gewisser Höhe durch, so legt man einen Sickerkanal an der tiefsten Stelle der Durchsickerung an, führt aber die Steinfüllung bis zur höchsten Stelle fort (Fig. 134).

Fig. 134.



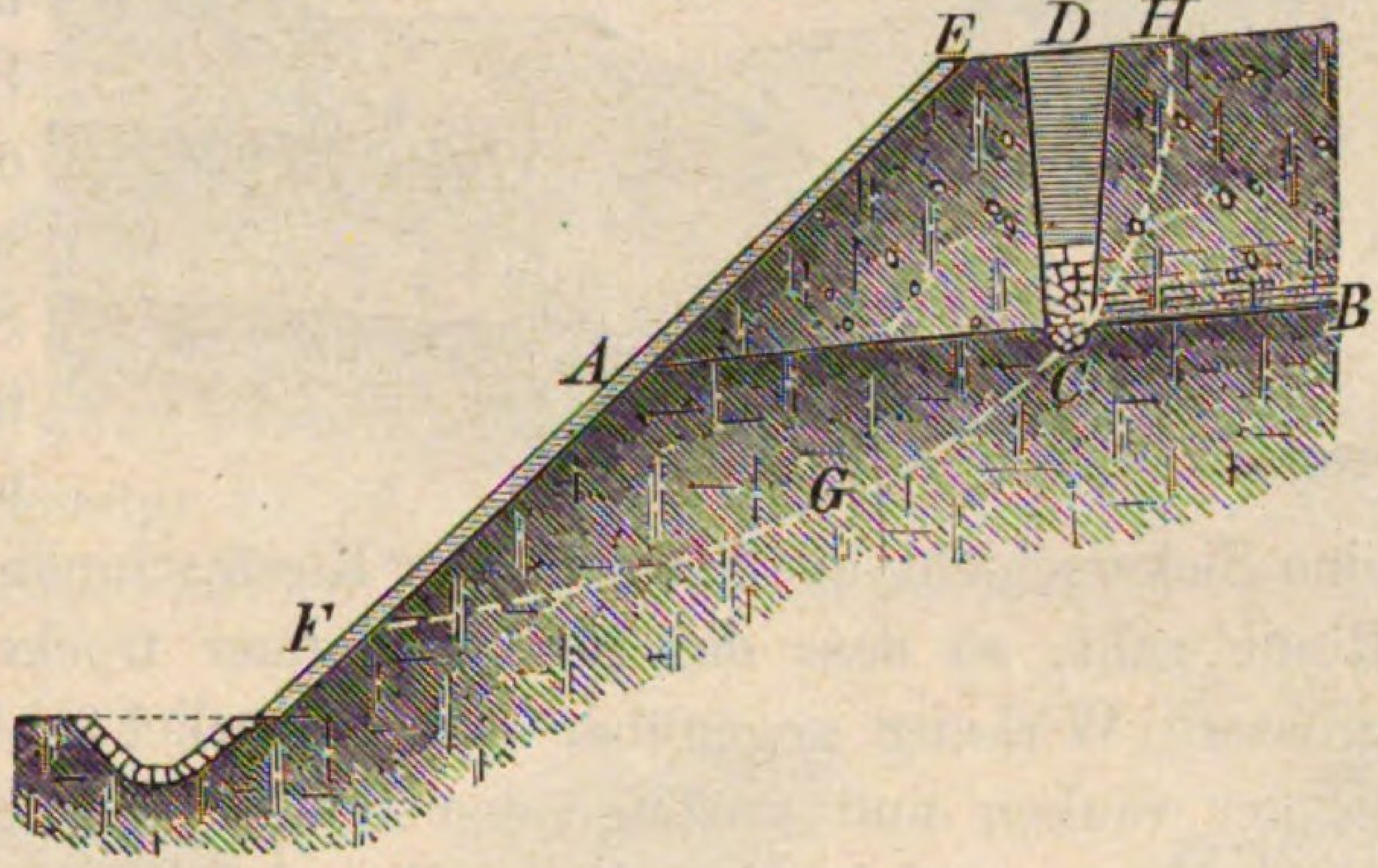
In der Mehrzahl der Fälle, in welchen wasserführende Schichten vorkommen, wird diese Maassregel den gewünschten Zweck vollkommen erfüllen.

Wenn die Neigung der glatten Schicht eine grössere oder wenn letztere sehr glitschig oder der darüber liegende Boden sehr stark erweicht ist, so genügt die soeben beschriebene Entwässerung nicht, weil ja der Zustand der Rutschfläche hinter dem Sickergraben nicht wesentlich geändert wird. Hier sind folgende Mittel anzuwenden:

1. Entwässerung durch einen Sickerkanal, welcher von dem Austritte der wasserführenden Schicht eine grössere Entfernung hat

(Fig. 135), so dass die Schicht auf eine grosse Breite AC trocken gelegt wird. Der entwässerte Körper $ACDE$ bildet alsdann ein natürliches Gegenbankett. Streicht die Rutschfläche in geringer Tiefe unter der Planie hinweg, so ist ebenfalls eine Entwässerung zweckmässig; man kann in diesem Falle zur Trockenlegung des unter der Planie liegenden Erdkörpers auch unter dem Seitengraben einen Sickerkanal anlegen, ähnlich der Fig. 142.

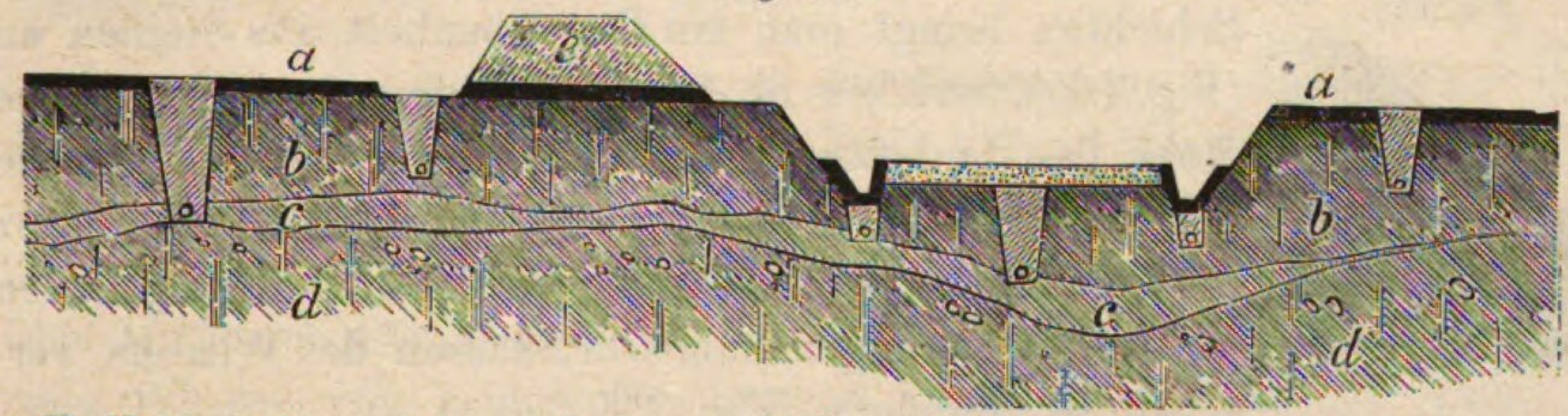
Fig. 135.



Die Entfernung des Sickerkanales vom Einschnittsrande ist um so grösser zu wählen, je grösser die Neigung der Schichten und die Höhe der über der Rutschfläche lagernden Schicht ist. Da es nicht möglich ist, eine bestimmte Zahl für diese Entfernung anzugeben, so wählt man sie lieber etwas reichlich. Wir finden bei ausgeführten Entwässerungen eine Entfernung von etwa *10 bis 60 Meter*.

Ein Beispiel mit einer grösseren Anzahl von Sickerkanälen bietet der Dockenberger Einschnitt (Fig. 136).

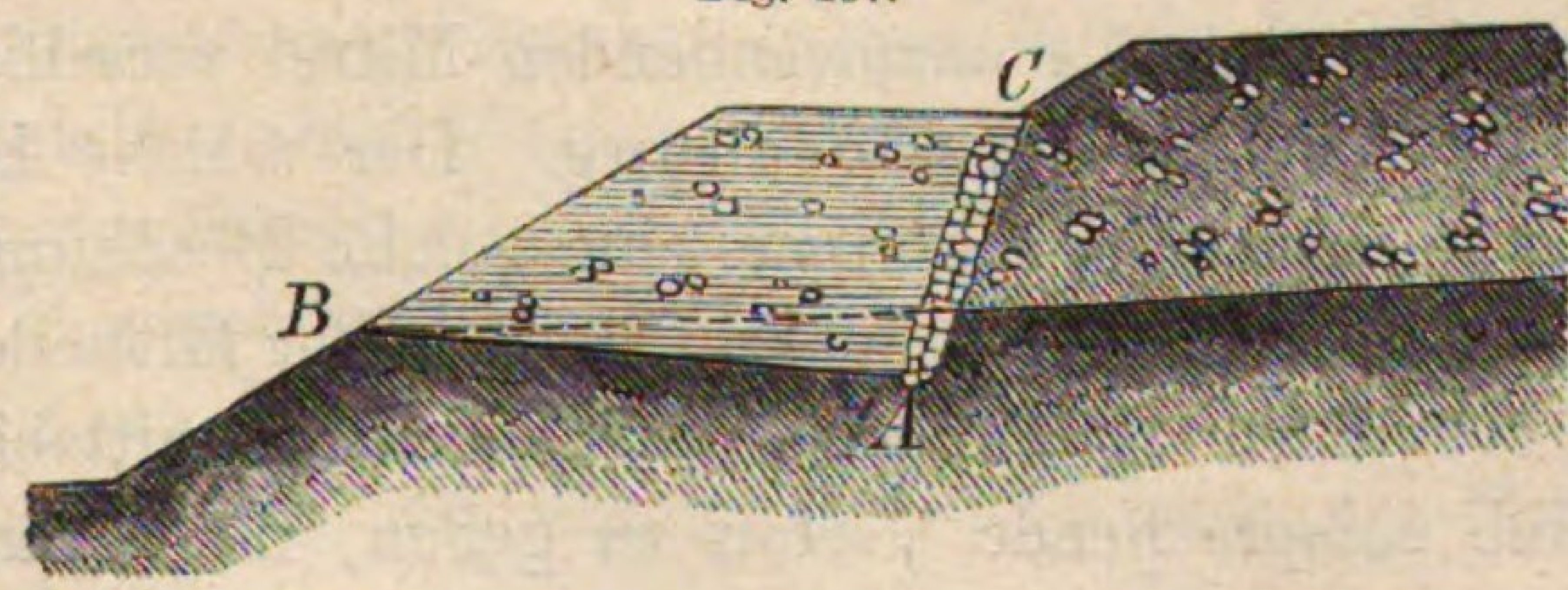
Fig. 136.



Einschnitt der Bahn von Paris nach Mühlhausen bei Dockenberg. — $^1/_{400}$ n. Gr.
a. Ackererde. — b. Lehm und Glimmersand, wasserhaltig.
— c. Thon. — d. Thon und Glimmersand. — e. Seitenablagerung.

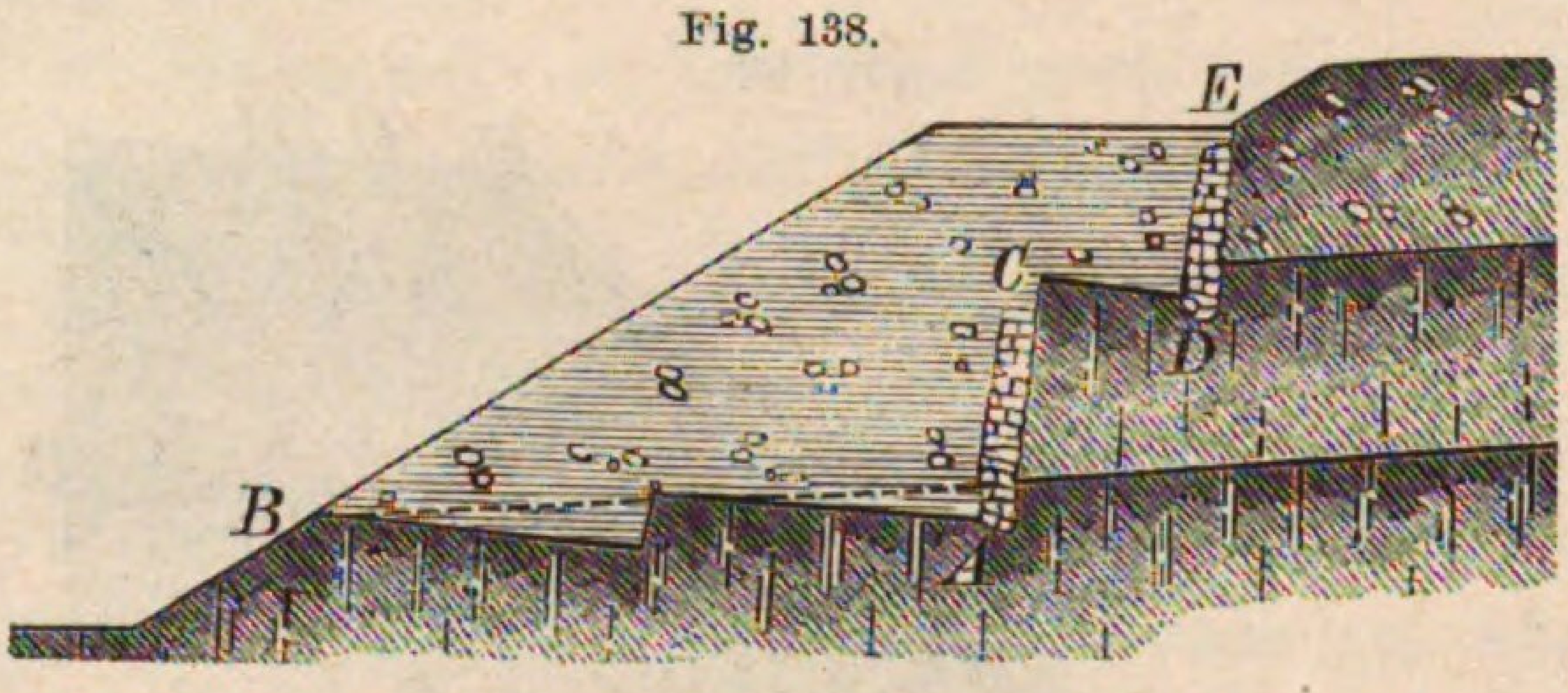
2. Statt dieses Mittels hat man, namentlich in Frankreich, auch künstliche Gegenbanketts (franz. *le contrefort*, engl. *the counterfort*) angewendet, die man aus gestampfter Erde bildet und denen man eine nach dem Einschnitte zu etwas ansteigende (etwa 1 : 10) Sohle gibt (Fig. 137). Bei sehr breiter Sohle wird

Fig. 137.



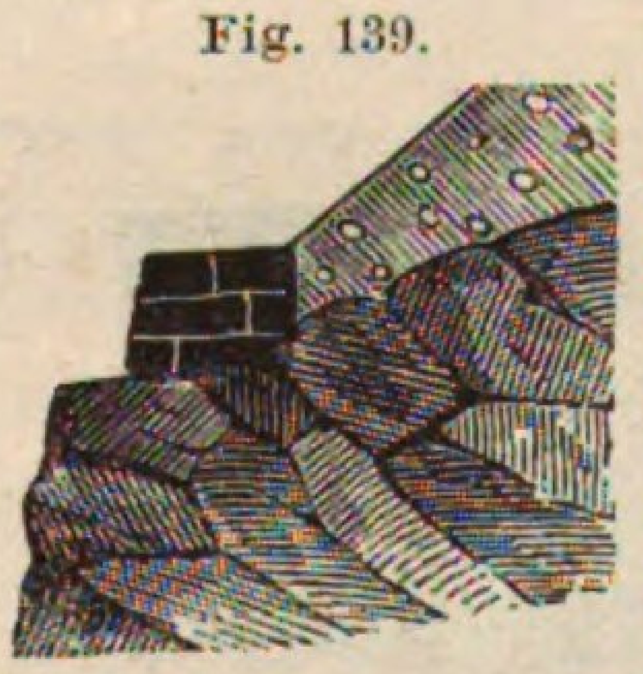
man dieselbe in mehreren Absätzen einschneiden (Fig. 138). Kommen mehrere Rutschflächen vor, so kann man an jeder Rutschfläche eine Stufe *CD* (Fig 138) anbringen. Zur Bildung des Bankettes kann man meist das Material verwenden, welches vorher dessen Stelle einnahm. Man trennt das Bankett vom natürlichen Boden durch eine Sickerschicht aus Steinen oder Kiesfaschinen, welche unten in einer Rinne ruht, so dass das Bankett immer trocken erhalten bleibt. Die grössere Wirkung gegenüber dem natürlichen Gegenbankett liegt hier in der rauhen und ansteigenden Sohle. Die Kraft, mit welcher sich die Erdmasse auf der natürlichen Rutschfläche bewegt, ist meist so klein, dass derselben verhältnissmässig kleine Banketts genügenden Widerstand leisten. Eine Berechnung der Grösse der Banketts ist leider wegen des Mangels der nöthigen Koefficienten nicht möglich. Bei uns hat man stets die unter 1. besprochene Anlage von Sickerkanälen den Gegenbanketts vorgezogen.

Fig. 138.



3. Häufig ist die über dem Felsen liegende Erde vor dem Abrutschen zu schützen. Ist die Oberfläche des Felsens trocken, so wird schon bei einer grösseren Neigung ein Abrutschen nicht eintreten (Fig. 158 und 159). Bei zu starker Neigung oder bei nassen Schichten bringt man ein Gegenbankett aus Steinen an (Fig. 160), welches in den Felsen eingesprengt ist. Die Höhe des Bankettes kann in der Regel gegen die Höhe der Erdmasse klein sein; häufig wird schon eine ganz niedrige Mauer, welche wenig in den Felsen eingelassen und mit Oeffnungen zum Durchlassen des Wassers versehen ist, genügen (Fig. 139).

Fig. 139.

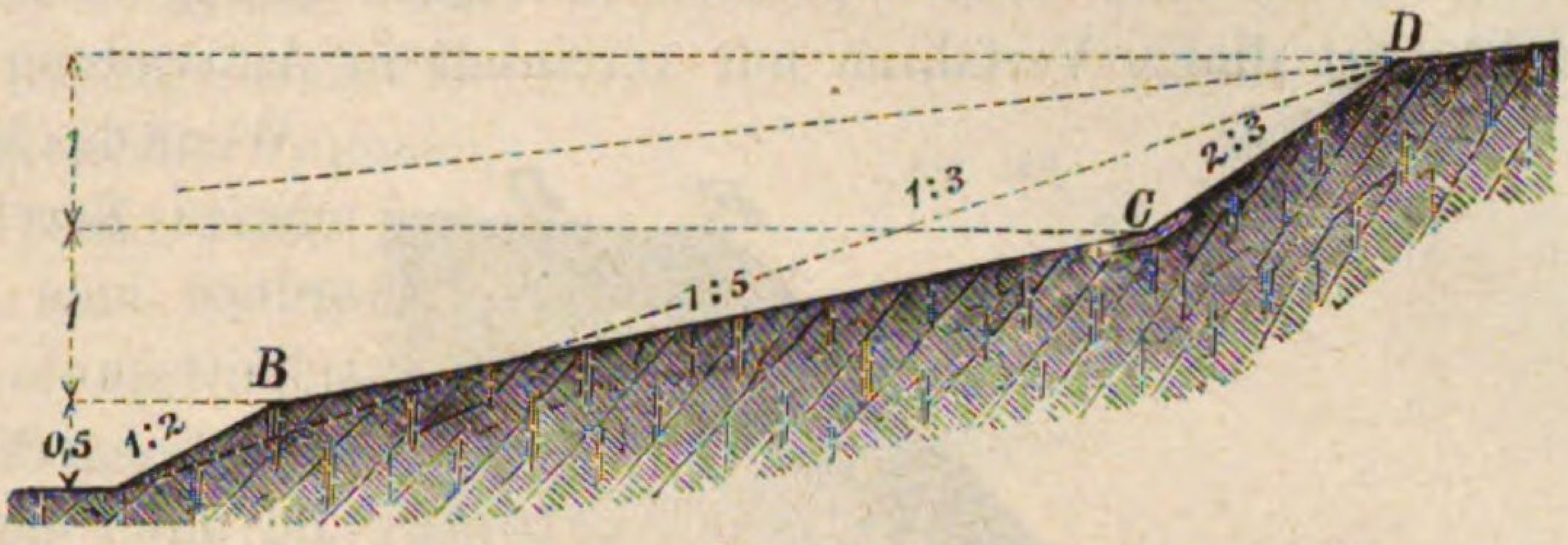


§. 134. Einschnitte in durchweichtem Boden. Wie schon oben bemerkt, tritt namentlich der Lehm und das mit thoniger und lehmiger Erde gemengte Gerölle oft vollständig durchweicht auf. Der Grad der Weichheit kann allerdings ein sehr verschiedener sein und hiernach werden auch die anzuwendenden Mittel verschieden sein müssen.

1. Form der Böschung. Der weiche Boden nimmt durch Rutschungen und Quellungen eine solche Böschungsform an, dass er oben und unten verhältnissmässig steil, in der Mitte dagegen flach geböscht ist. Gerstel schlägt daher vor, solchen Einschnittsböschungen von vornherein eine entsprechende Gestalt zu geben, indem man eine durchschnittliche

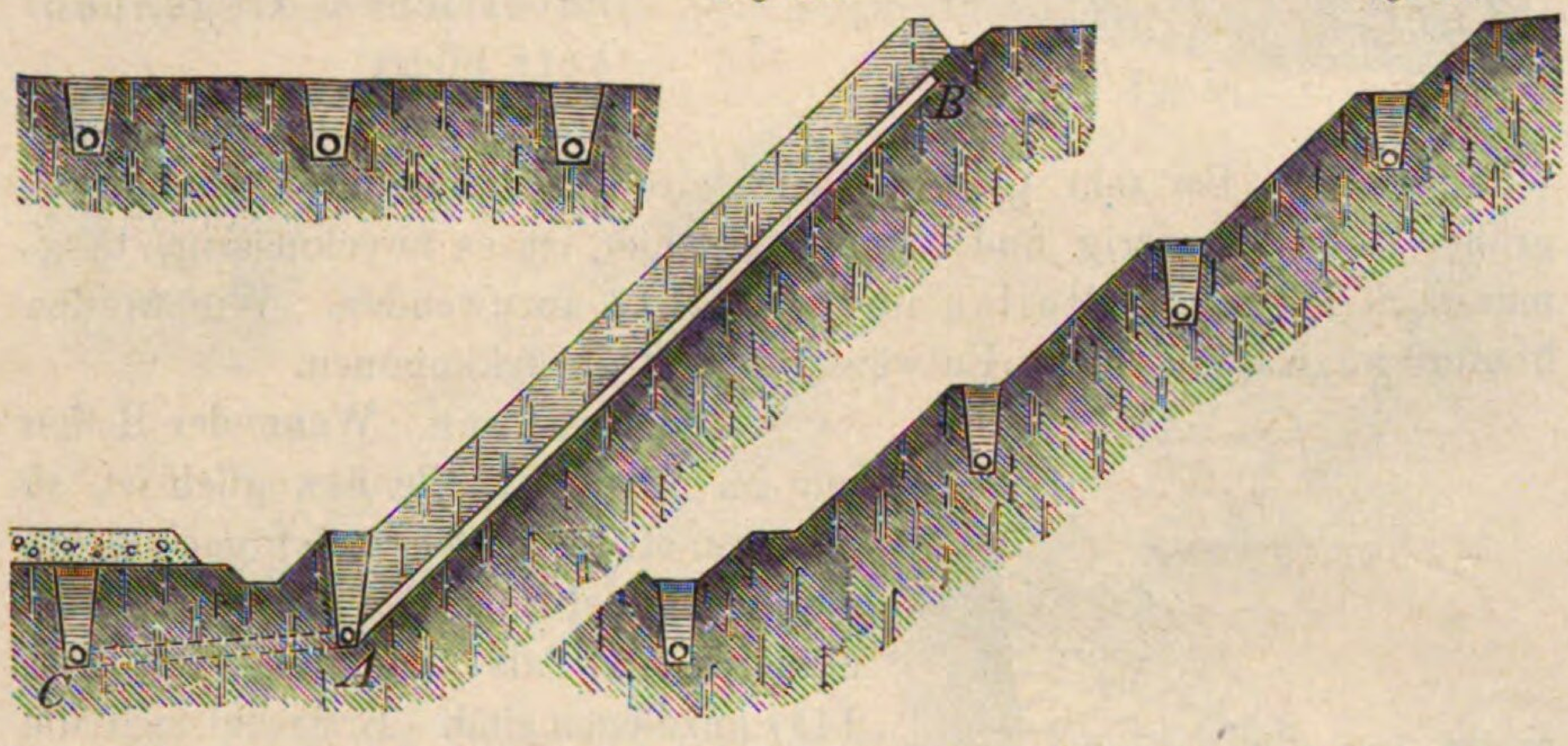
*3*fache, unten eine *2*fache, in der Mitte eine *5*fache, oben eine $1\frac{1}{2}$fache Böschung anordnet (Fig. 140).

Fig. 140.



2. Oberflächen- oder Flachdränage. Bei nicht zu grosser Beweglichkeit der Erde genügt es oft, nur eine dünne Schicht zunächst der Böschung durch Sickergräben oder Dräns auszutrocknen. Hierzu

Fig. 141. Fig. 142.

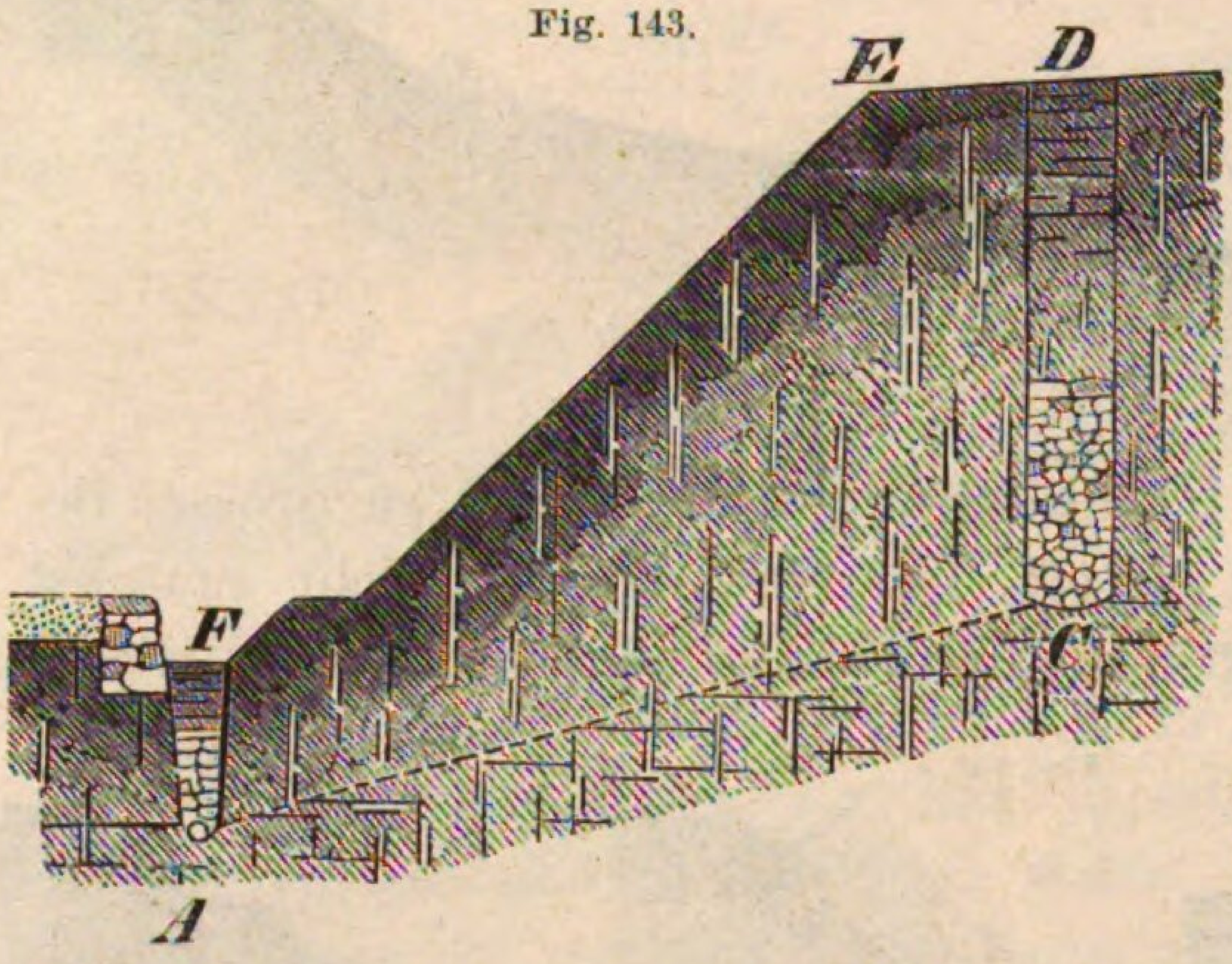


ordnet man an der Böschung in Abständen von *3 bis 6 Meter* Quergräben *AB* von *0,8 bis 1,1 Meter* Tiefe (Fig. 141) an, welche unten in einen Längengraben *A* münden. Den Gräben gibt man am besten eine Neigung von 30 bis 45 Grad gegen die Linie des grössten Falles. Unter der Mitte der Planie wird oft ebenfalls ein Graben *C* angelegt, welcher das Wasser von beiden Böschungen sammelt und abführt (Bahn von Blesme nach Gray). Statt dieser Quergräben legt man auch Längsgräben an (Fig. 142), aus welchen das Wasser durch einzelne Quergräben in die Bahngräben abgeführt wird (Friedrich-Franz-Bahn in Mecklenburg).

3. Tiefdränage. Bei grösserer Durchweichung ist eine tiefer greifende Dränirung anzuwenden. Man hat hierzu in die Böschungen in bestimmten Horizontalabständen Löcher gebohrt und in diese Dränröhren gebracht. Entweder steckt man die an einer hölzernen Stange aufgereihten Röhren in das gebohrte Loch oder man treibt die Röhren in dem Maasse, wie das Loch vorschreitet, über den Schaft des Bohrers hinweg ein, in ähnlicher Weise, wie man die Futterröhren der Bohr-

löcher zu artesischen Brunnen etc. eintreibt. Der grossen Kostspieligkeit wegen ist dieses Verfahren nur vereinzelt in Anwendung gekommen.

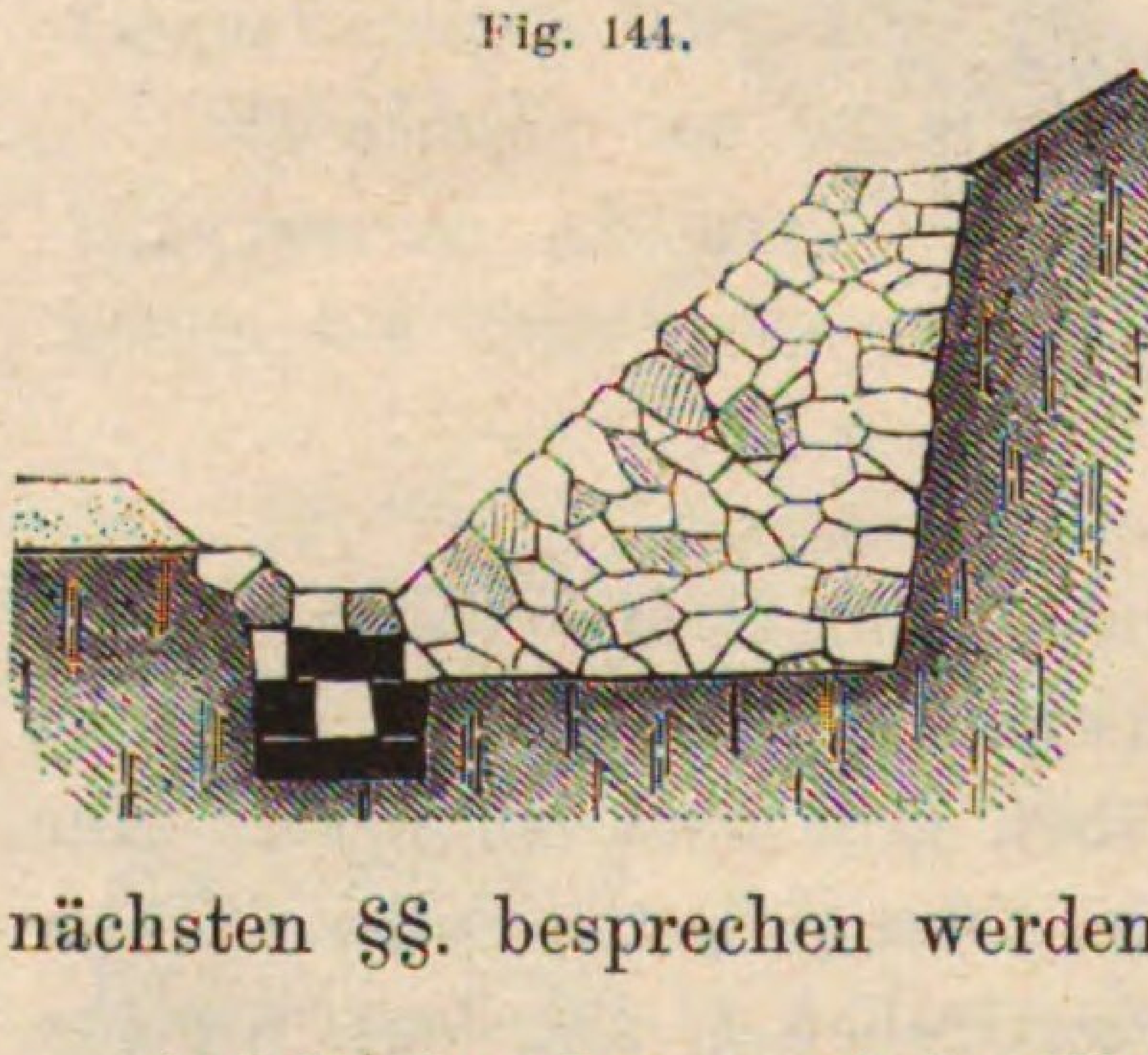
Fig. 143.



Wenn das Material einigermassen durchlässig ist, so ordnet man über der Einschnittskante *E* (Fig. 143) einen tiefen Sickergraben *CD* und unter dem Einschnittsgraben einen weniger tiefen Sickergraben *AF* an, so dass das Prisma *AFEDC* ausgetrocknet wird und nun ein natürliches Gegenbankett bildet.

4. Bergmännische Entwässerung. Bei sehr grosser Tiefe wird die Herstellung der Sickergräben sehr schwierig und kostspielig; hier ist es zweckmässig, bergmännisch betriebene Stollen und Schächte anzuwenden. Wir werden hierauf im Kapitel über „Entwässerungen" zurückkommen.

Fig. 144.



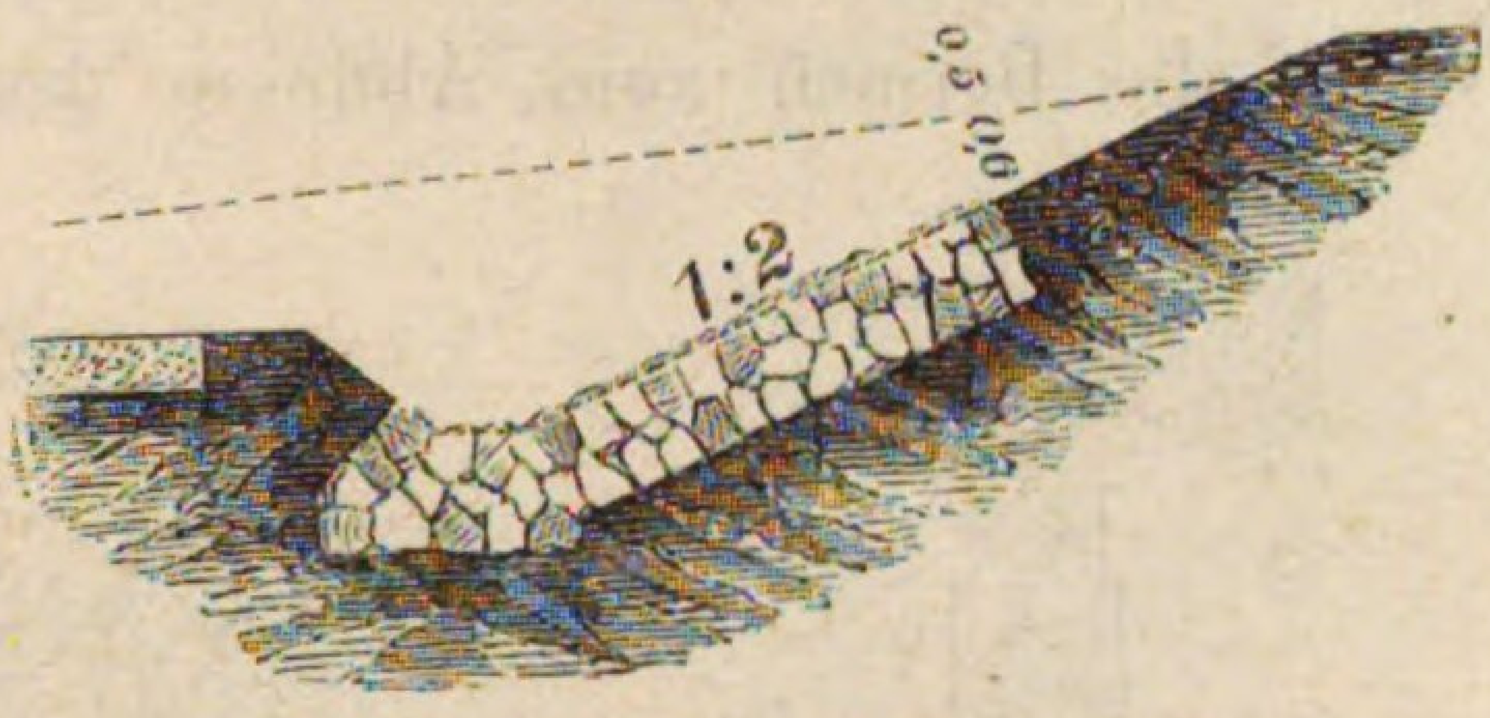
5. Stützungen. Wenn der Boden nur im unteren Theile beweglich ist, so genügen oft fortlaufende Steinpackungen, die je nach der Beweglichkeit als liegende Mauern oder als Gegenbanketts (Fig. 144) anzulegen sind. Erstreckt sich die Durchnässung auf grössere Höhen, so pflegt man Strebepfeiler oder Holzkonstruktionen anzuwenden, die wir in den nächsten §§. besprechen werden.

Auf die Anordnung und den Werth der Futtermauern gegen Erdrutschungen gehen wir erst bei Besprechung der „Futtermauern" ein. Erwähnt seien hier nur noch die Futtermauern, welche sich unten gegen Erdbögen lehnen und oben gegenseitig abgesteift sind; sowie die Vermeidung des Einschnittes durch Anlage eines Tunnels; hierüber in den Vorträgen über „Tunnelbau".

§. 135. Strebepfeiler. Die aus Trockenmauerwerk herzustellenden Strebepfeiler, Böschungspfeiler, Sporen oder Sickerschlitze (franz. *la pierrée, le cloison en pierres sèches, le revêtement en pierres sèches,* engl. *the dry-wall, the stone-packing*) haben einen doppelten Zweck: eine Stützung und eine Wasserabführung. Je nach Umständen kann einer der beiden Zwecke vorwiegend oder auch der allein angestrebte sein. Hinsichtlich der Stützung wirken die Pfeiler durch ihr Gewicht wie eine

Futtermauer; sie sind aber wirksamer, wie eine durchgehende Futtermauer von gleichem Volumen, weil der Schwerpunkt weiter nach hinten gerückt ist. Die Entfernung der Pfeiler darf allerdings eine von der Beweglichkeit des Bodens abhängige Grenze nicht überschreiten, da bei zu grosser Entfernung ein Abrutschen des zwischen den Pfeilern liegenden Bodens dennoch eintritt.

Fig. 145.



Die Strebepfeiler wendet man hauptsächlich an, wenn die Erdmasse ganz oder theilweise durchweicht ist oder wenn eine auf einer durchweichten Masse ruhende feste Schicht zu stützen ist.

Fig. 146.

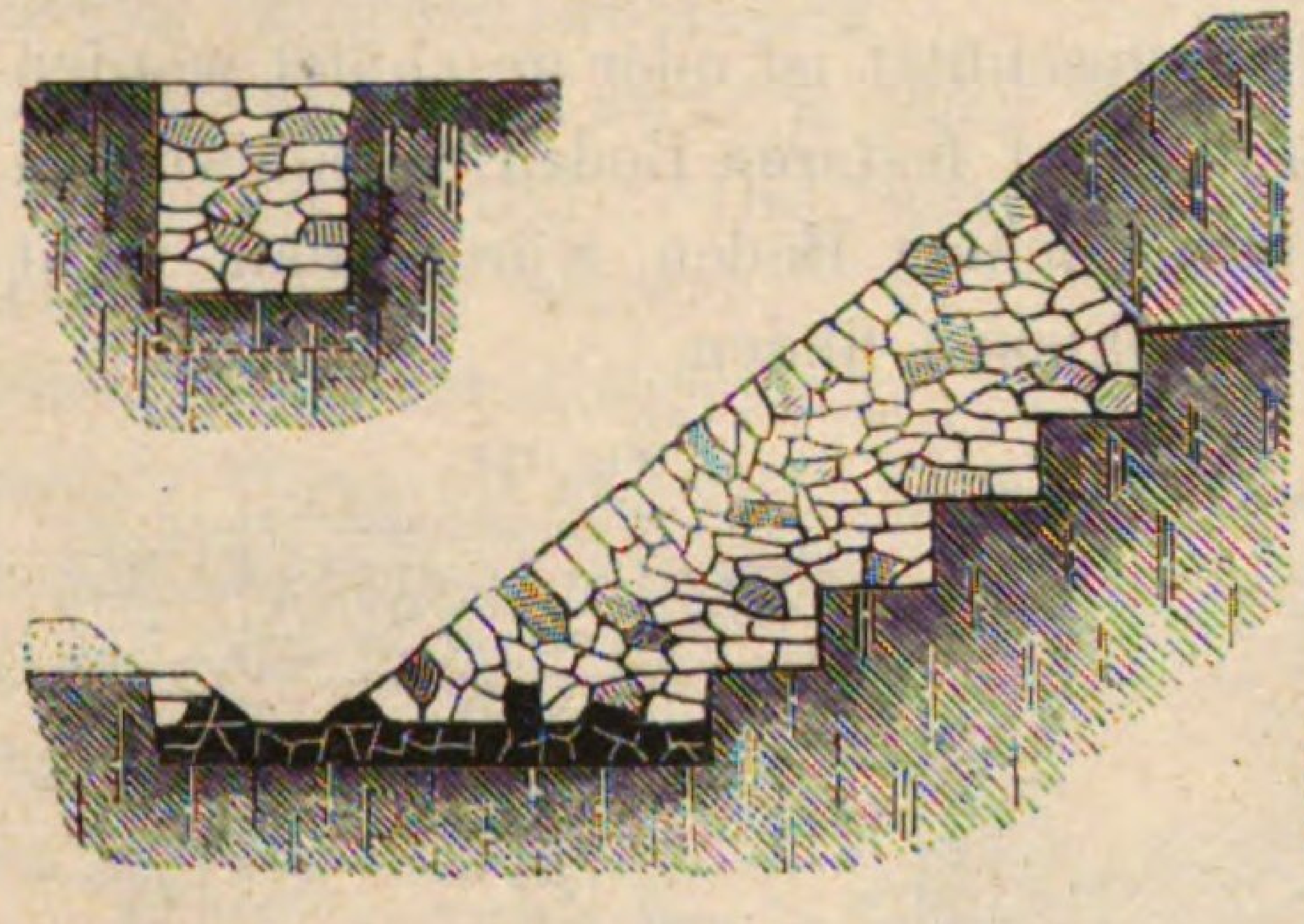
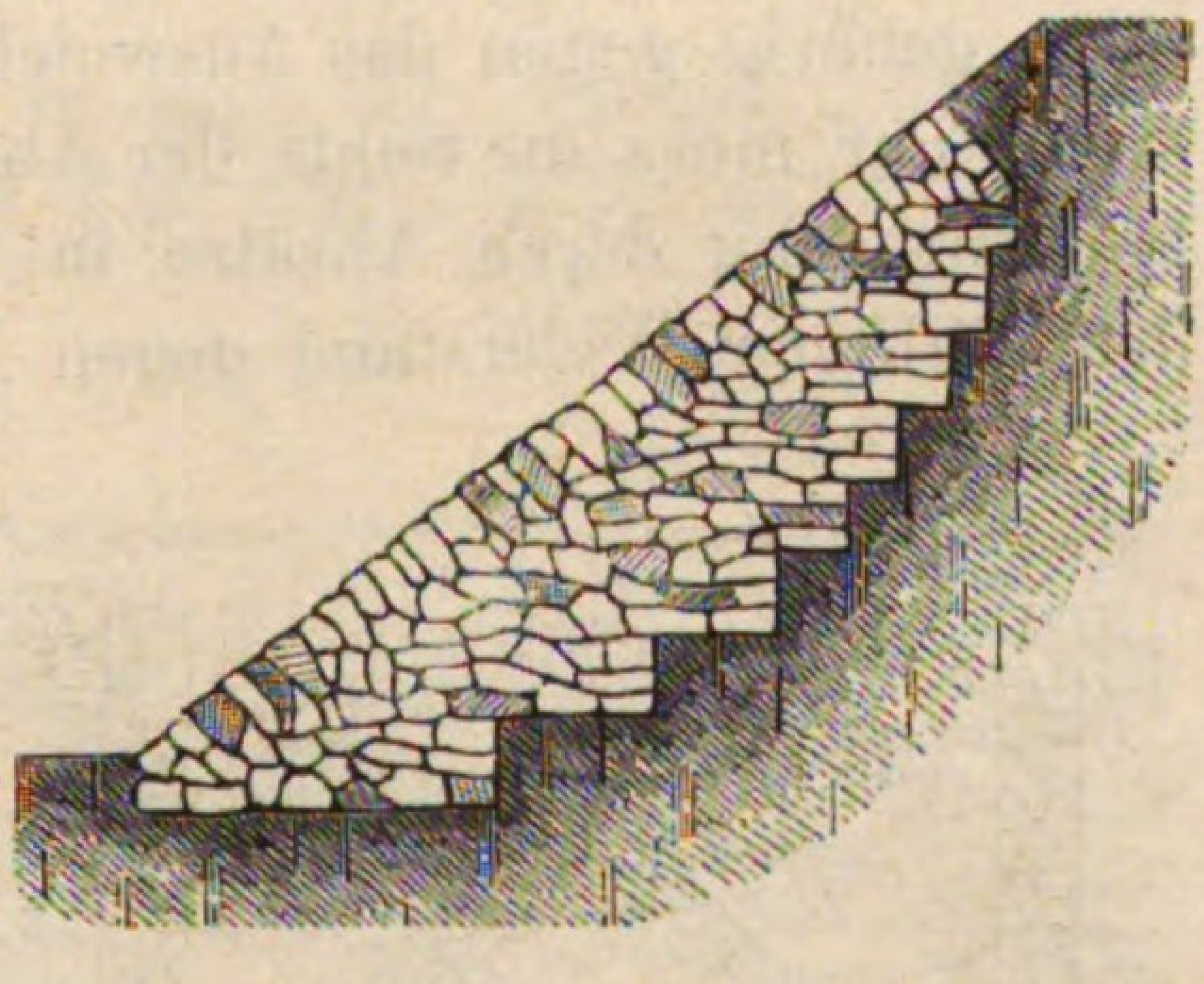


Fig. 147.



Die Form der Pfeiler ist verschieden. Die Breite wählt man meist konstant (Fig. 148); es ist indess bei längeren Pfeilern, wenn der Boden nicht nur oben, sondern auch an Zwischenstellen beweglich ist, nicht unzweckmässig, nach oben ein Abnehmen der Breite in Absätzen anzuordnen (Fig. 150 und 151), weil alsdann eine Bewegung des zwischenliegenden Bodens weniger leicht möglich ist. Die Dicke führt man zuweilen auch konstant durch (Fig. 145) oder man bringt aus gleichem

Fig. 148.

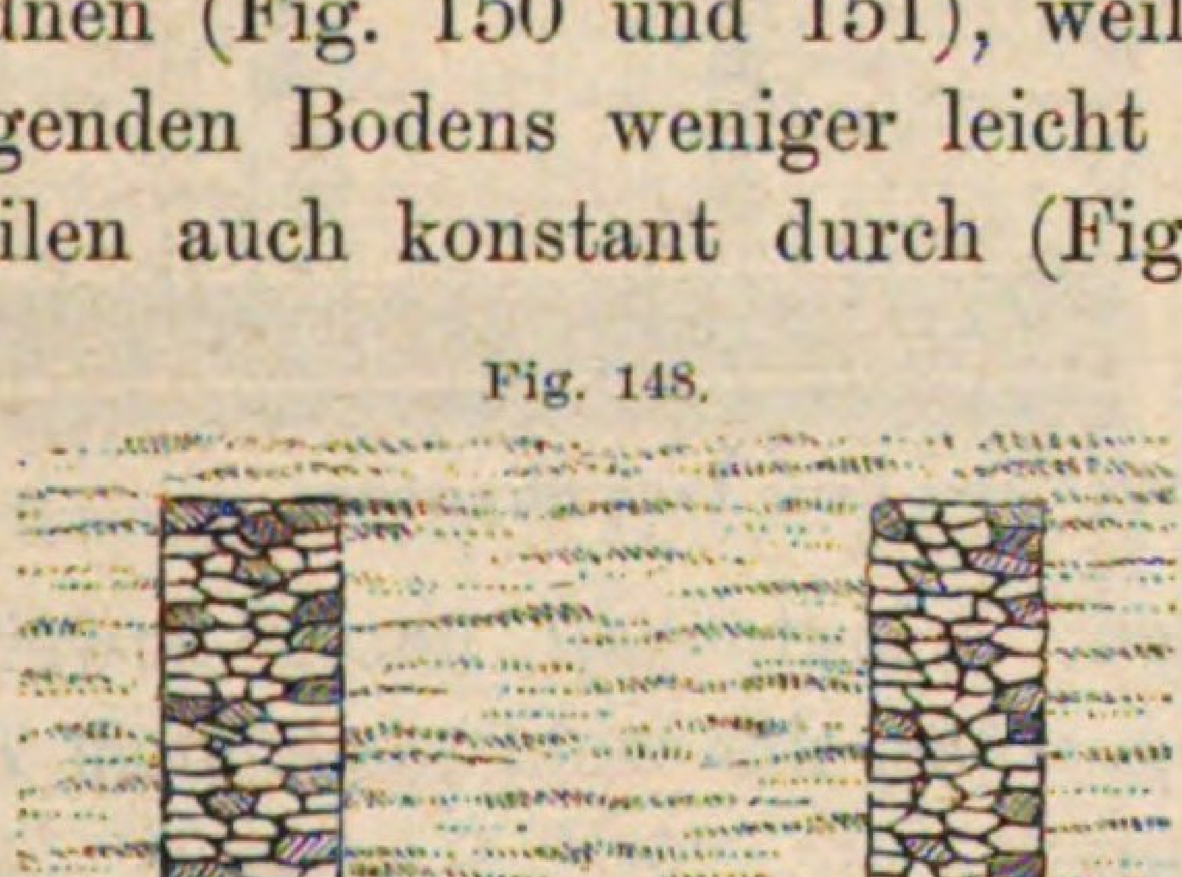
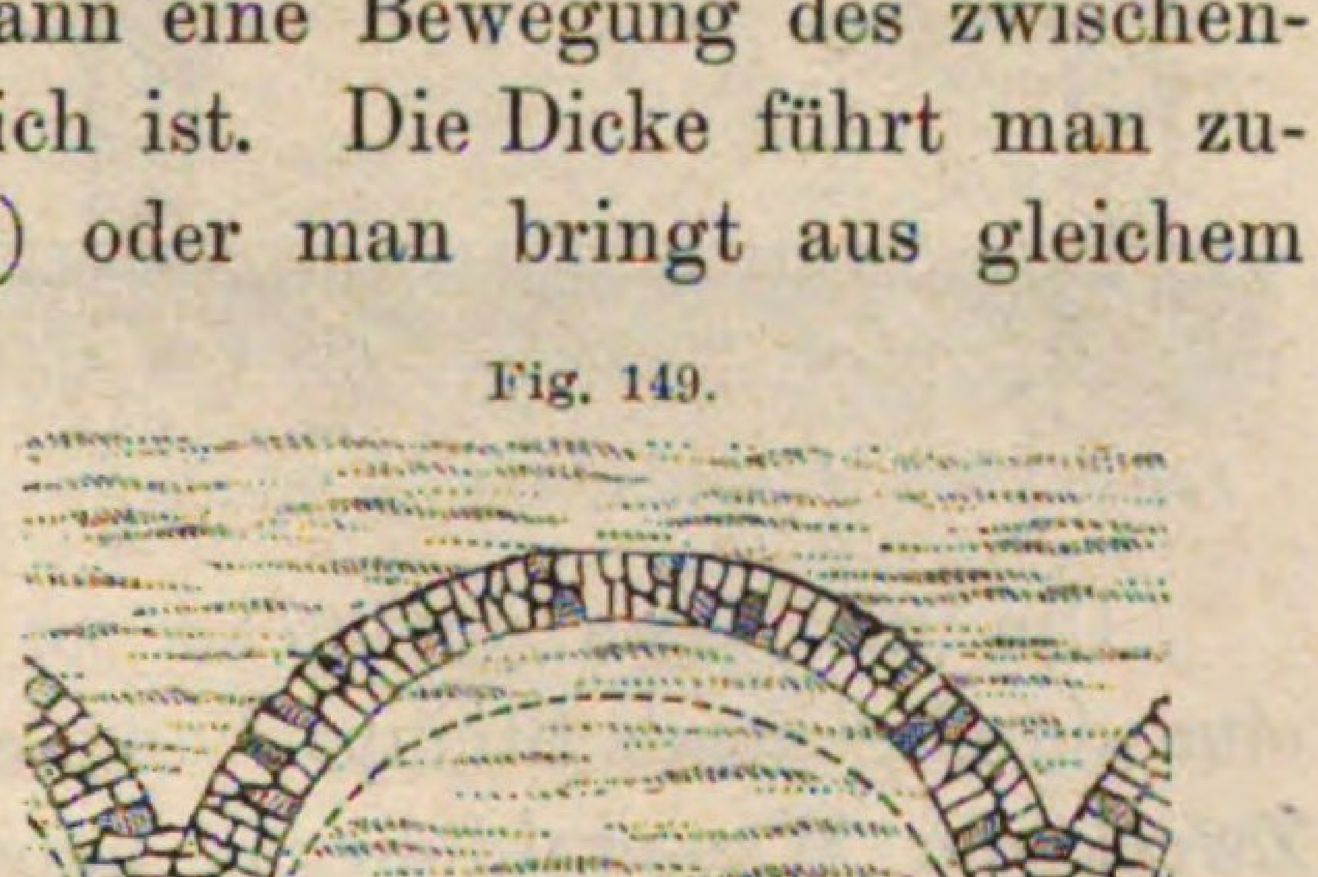


Fig. 149.



Grunde, wie vorhin, Absätze an, gegen welche sich die Erdmasse stemmen kann (Fig. 146, 147 und 155). Sehr häufig aber treppt man die Hinter-

fläche ab, um einen grösseren Widerstand gegen Verschieben zu erhalten, wobei die Bermen zum Abflusse des Wassers wenig (etwa $\frac{1}{10}$) nach

Fig. 150.

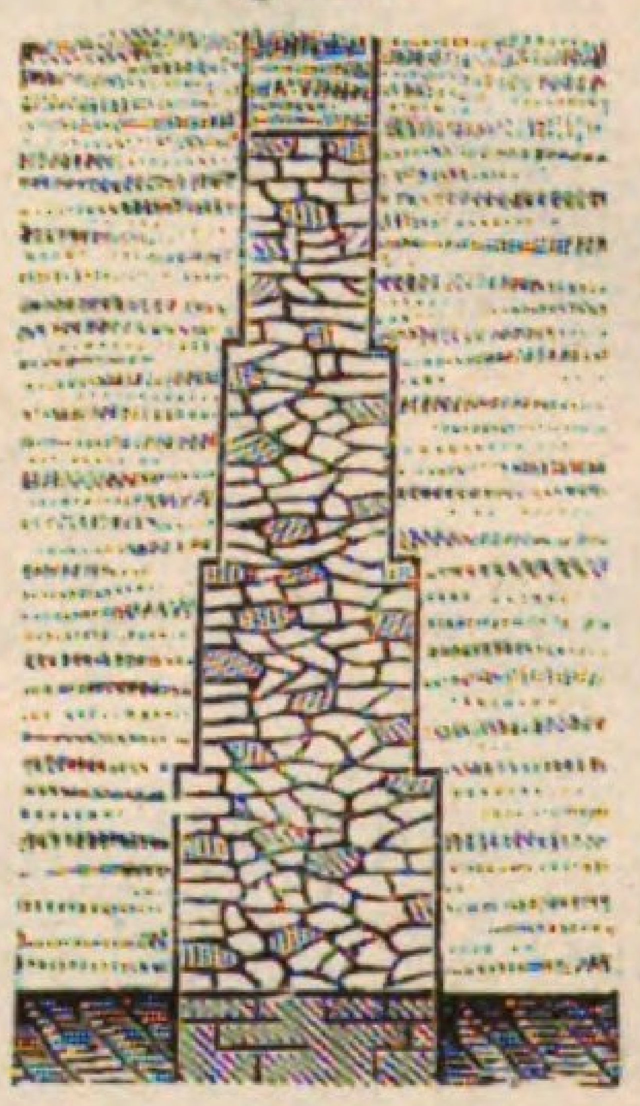
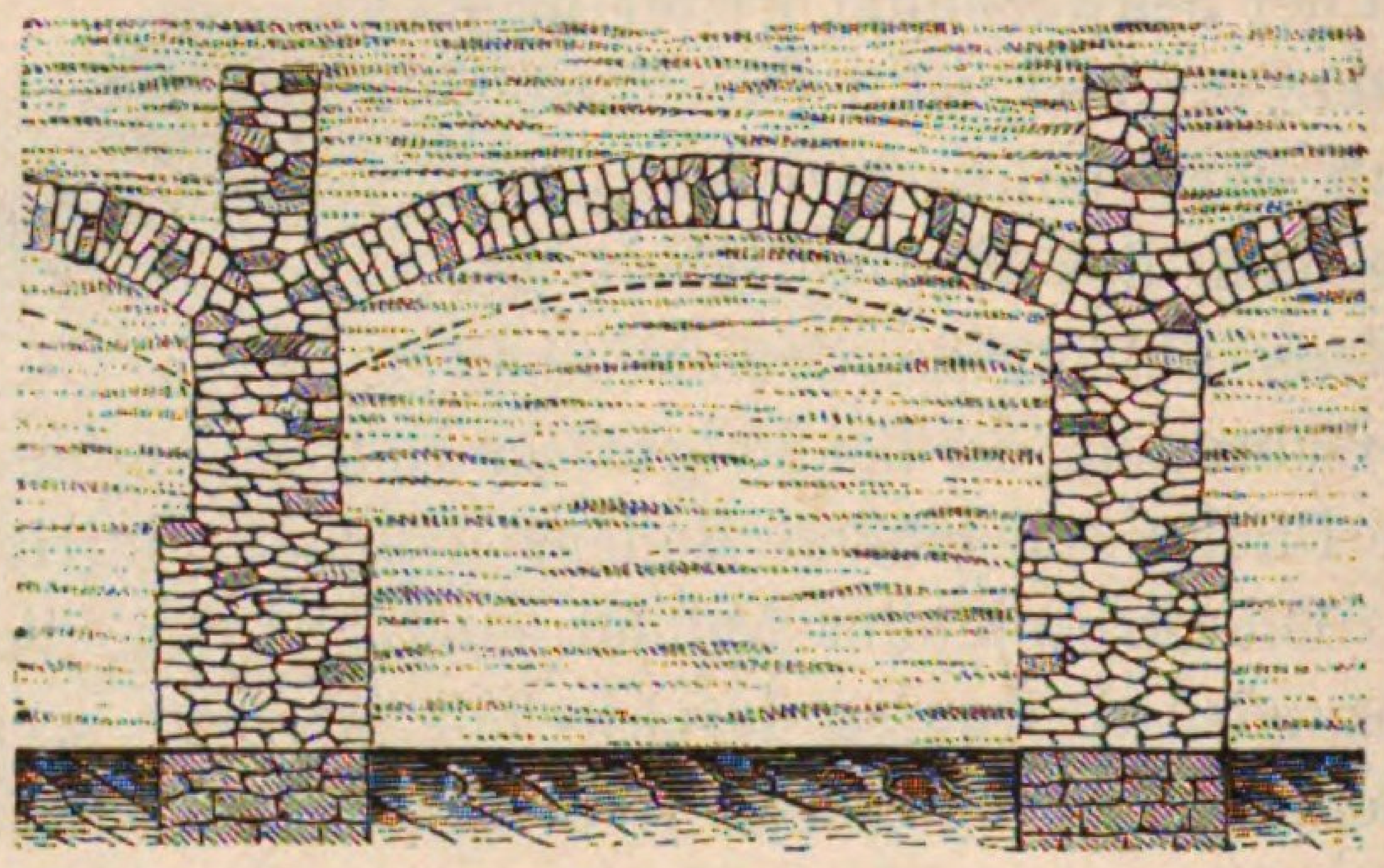
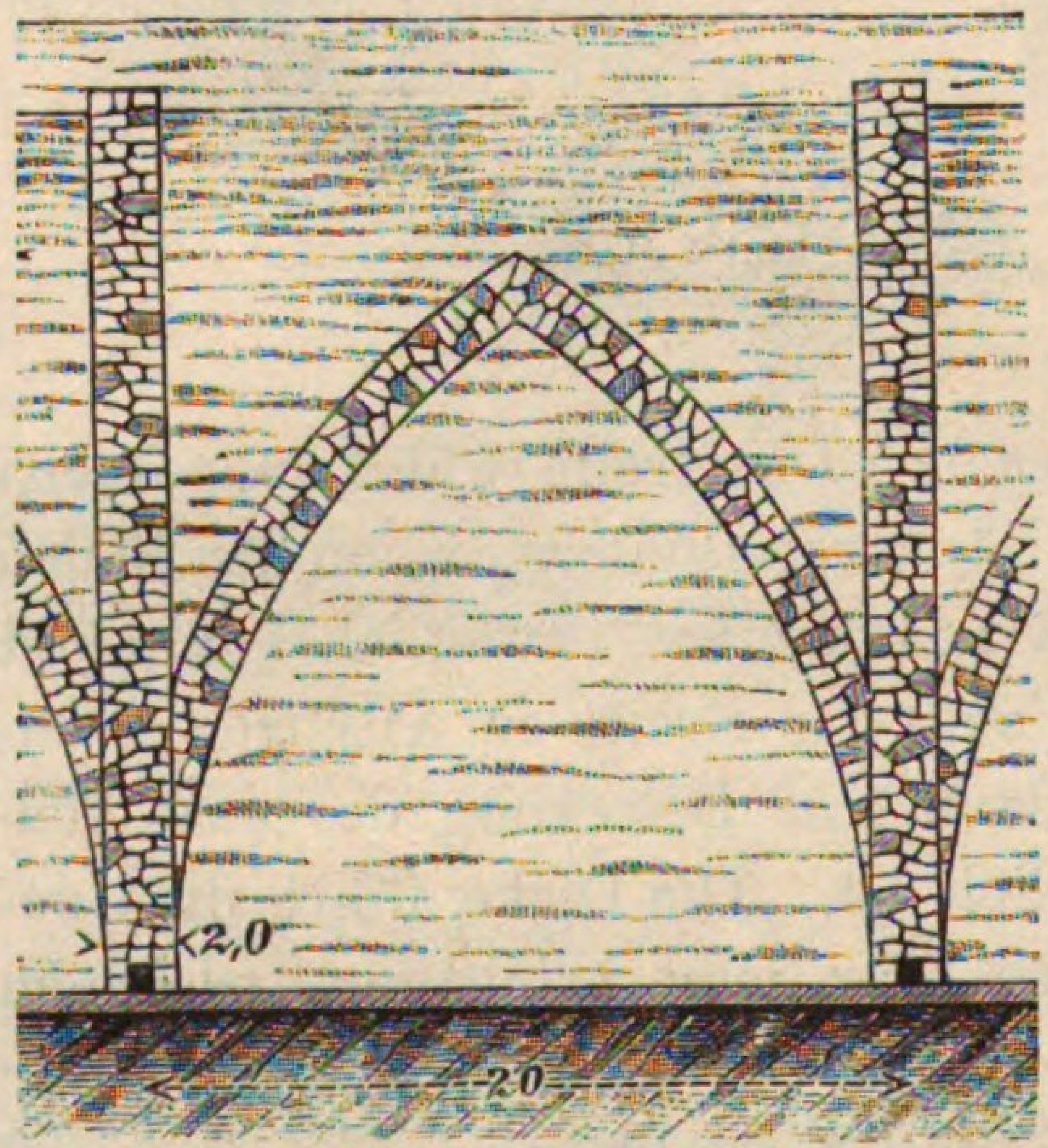


Fig. 151.



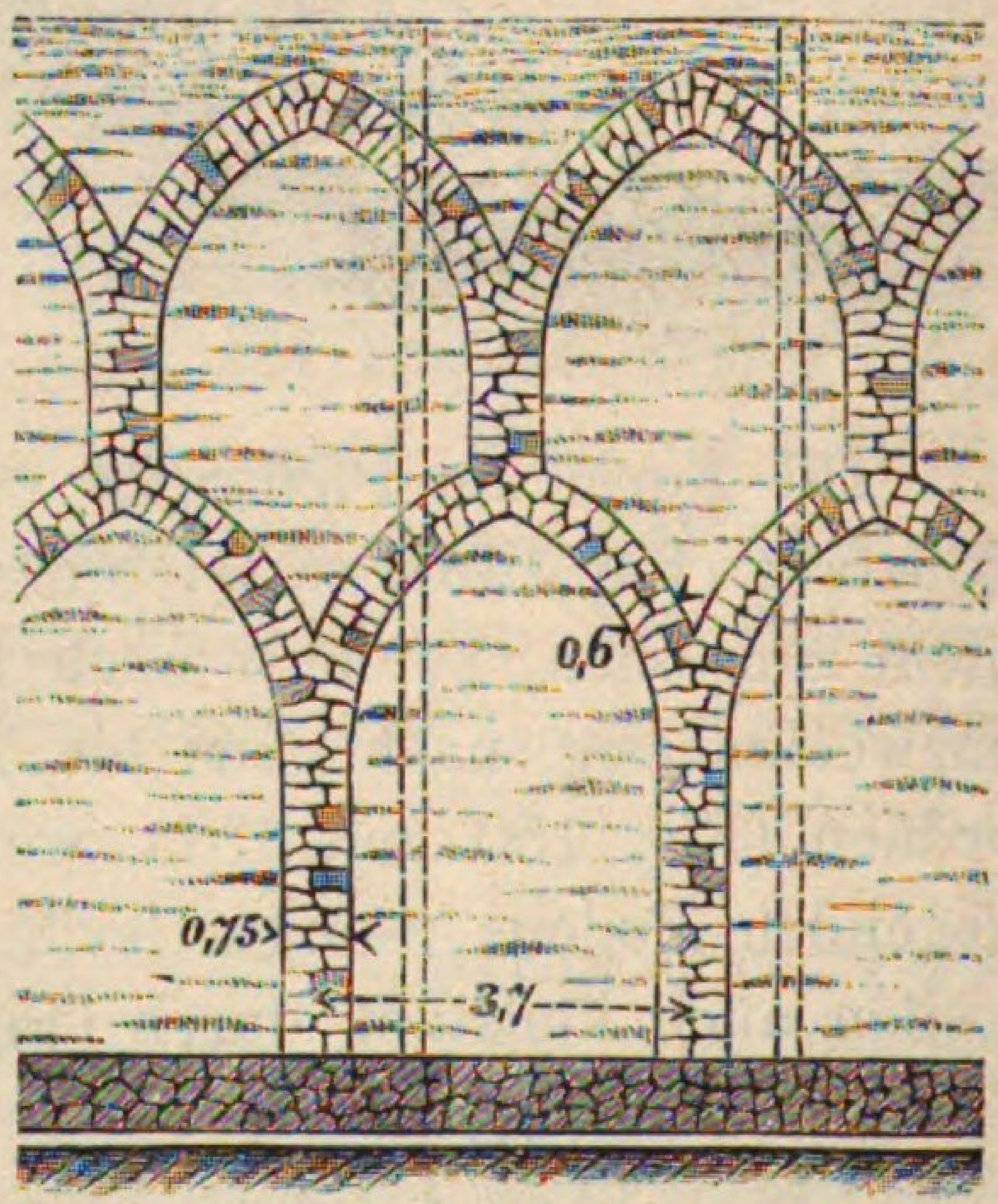
vorn geneigt werden; jedenfalls ist dies zweckmässig, wenn die Basis nicht gehörig gegen das Ausweichen geschützt ist oder geschützt werden kann; nur muss die Sohle der Absätze auf festeren Boden gelegt werden können; denn durch Absätze in beweglichem Boden würde man nicht den nöthigen Widerstand gegen Verschieben finden.

Fig. 152.



Paris-Lyoner Mittelmeerbahn. — $^1/_{500}$ n. Gr.

Fig 153.



Bahn von Paris nach Strassburg. — $^1/_{250}$ n. Gr.

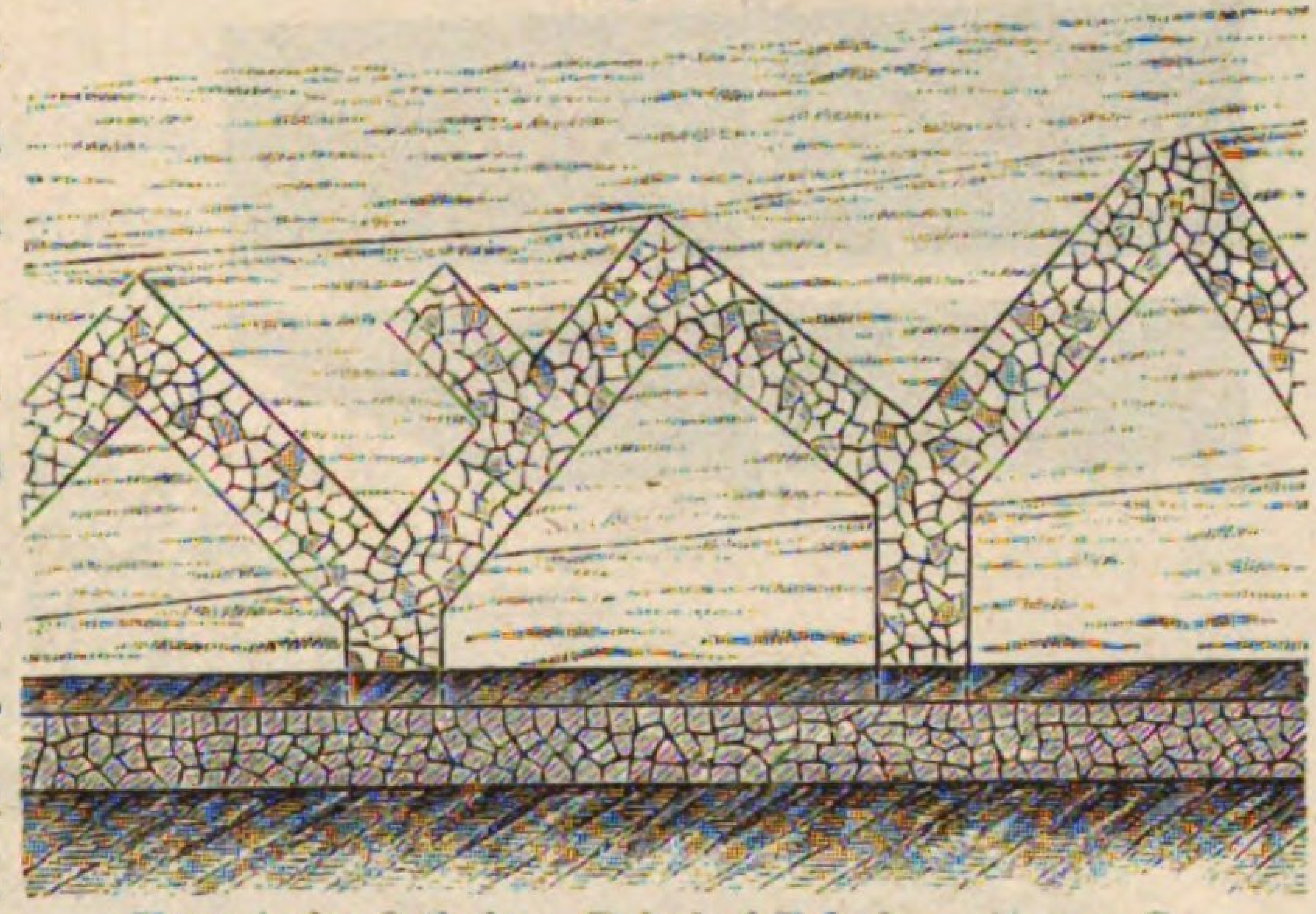
Um die Basis genügend zu stützen, bringt man unten zuweilen eine durchgehende Steinpackung an (Fig. 148), die wohl auch noch den Zweck der Wasserabführung haben kann.

Ist das Erdreich nur an gewissen Stellen durchnässt, so ordnet man die Pfeiler nur an diesen Stellen an und lässt von den Pfeilern zur Abfangung des Wassers wohl auch Steinpackungen als Zweige ausgehen.

Bilden die Durchsickerungen einen horizontalen Streifen, so ist es sowohl der Stützung als der Wasserabführung wegen zweckmässig, an

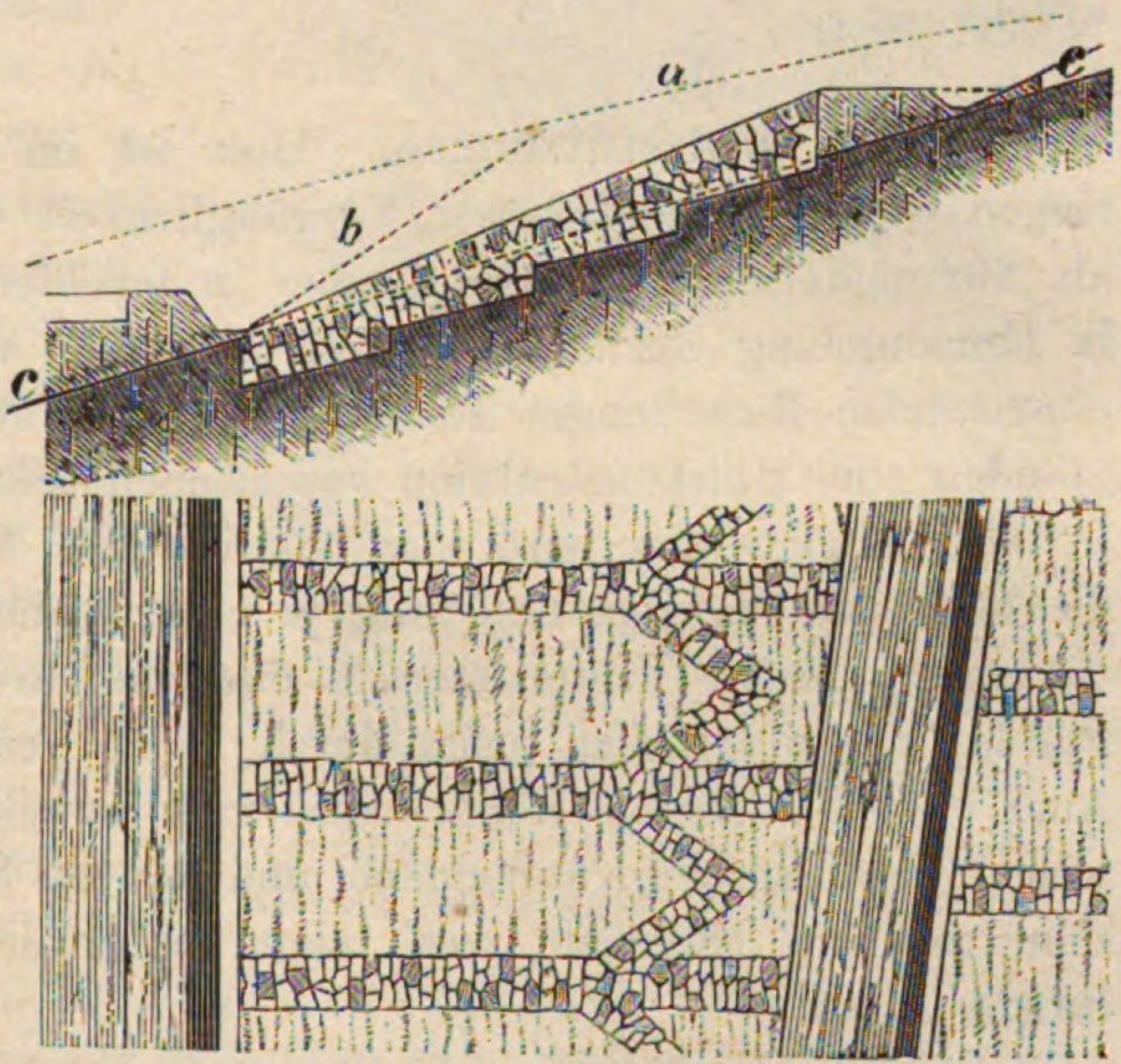
dieser Stelle Steinpackungen in Bogenform anzuordnen (Fig. 151); jedenfalls ermöglicht man hierdurch eine grössere Entfernung der Pfeiler. Vielfach hat man auch geradlinige Zwischenpackungen in Dreiecks- oder Dachform angewendet (Fig. 154 und 155), die wohl leichter auszuführen, indess hinsichtlich der Aufnahme des Erddruckes weniger zweckmässig sind. Man bringt die Bögen aber auch häufig bei vollständiger Durchnässung an, um ein Abrutschen der zwischen den Pfeilern liegenden Erdmassen zu verhindern und zwar je nach Bedarf in einer oder mehreren Etagen (Fig. 152 und 153). Die Spitzbögen in Fig. 152 und in der zweiten Etage von 153 würden besser durch Rundbögen ersetzt. Wenn die nassen Stellen tief liegen, so hat man auch Bögen ohne Pfeiler in Anwendung gebracht (Fig. 149).

Fig. 154.



Ungarische Ostbahn. Bahnhof Erked. — $^1/_{100}$ n. Gr.

Fig. 155.



Bairische Staatsbahn (Lindau-Augsburg).
a. Terrainfläche. b. Projectirte Böschung. cc. Gleitfläche. — $^1/_{200}$ n. Gr.

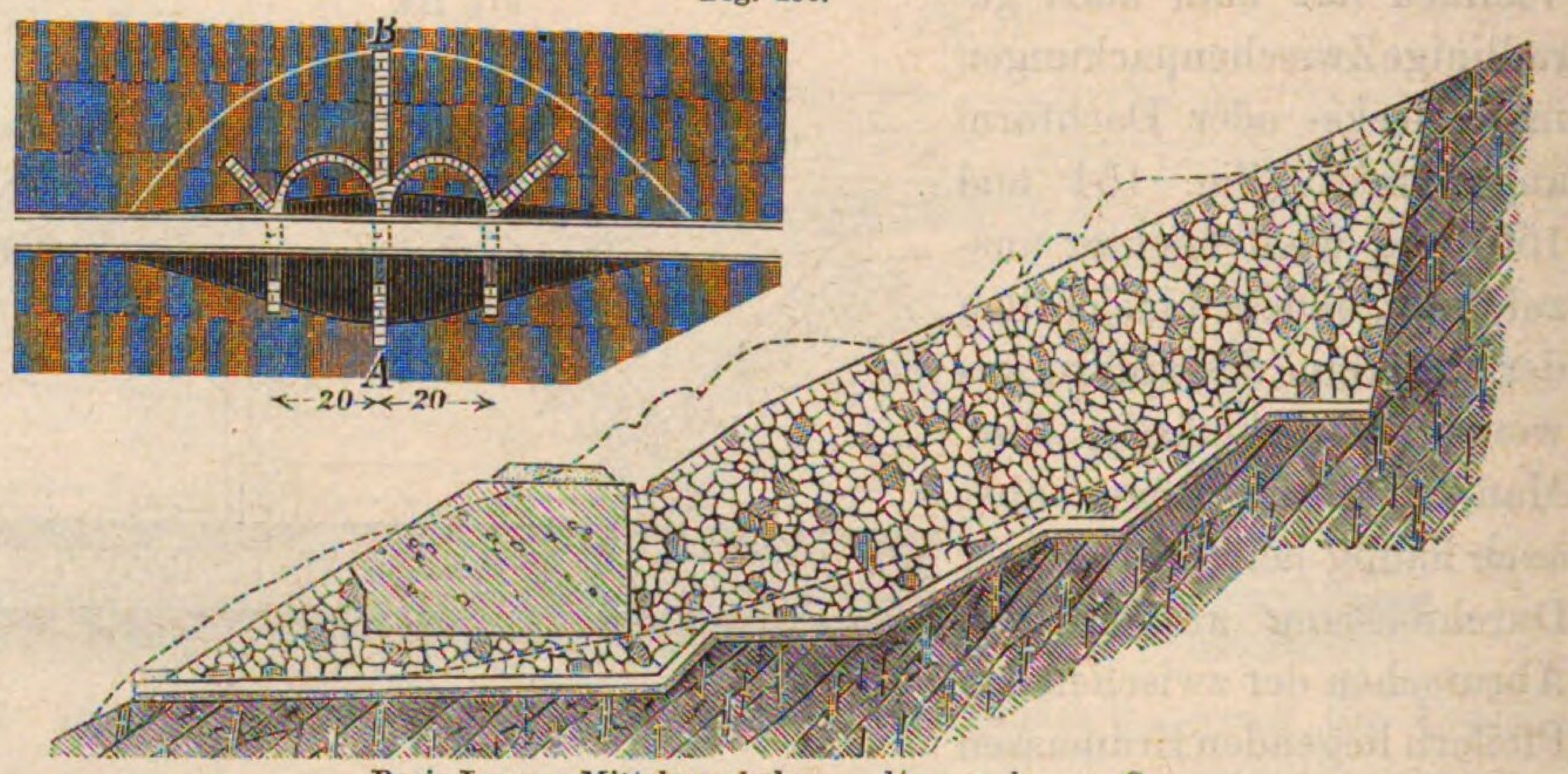
Ueber die anzuwendenden Dimensionen lässt sich nur soviel sagen, dass die Stärken um so grösser und die Entfernungen um so kleiner sein müssen, je beweglicher der Boden und je höher die Böschung ist. Die angewendeten Dimensionen sind: Entfernung *5 bis 20 Meter*, Breite *0,6 bis 3,0 Meter*, Dicke *0,6 bis 2,0 Meter*.

In Ermangelung von Steinen hat man auch Sandpfeiler angewendet (Croydon-Eisenbahn).

Auf der Paris-Lyoner Mittelmeerbahn hat man zur Reparatur von Abrutschungen in Ab- und Aufträgen ein gleichförmiges System angenommen, nämlich Steinpfeiler mit zwischenliegenden Bögen aus Trockenmauerwerk (Fig. 152, 156)

Die Bögen haben Spitzbogenform oder Halbkreisform. Die Pfeiler haben 20^m Abstand und *1 bis* 2^m Dicke. Die abgestufte Sohle derselben ruht ganz auf festem

Fig. 156.



Paris-Lyoner Mittelmeerbahn. — $^1/_{2500}$ u. $^1/_{500}$ u. Gr.

Boden, also unter der Rutschfläche. Auf dieser Sohle ist auf einem Betonbett von *0,3 bis* $0{,}4^m$ Dicke ein Kanal von $0{,}2^m$ Breite und Höhe ausgespaart. Die Bögen dringen in das Terrain je nach dem Grade der Konsistenz desselben mehr oder weniger tief ein.

§. 136. Holzstützungen. Holz ist im Allgemeinen seines geringen Gewichtes und seiner Vergänglichkeit wegen weniger geeignet, als Steinmaterial. Wenn es immer in feuchter Erde liegt, so kann es in Ermangelung von Steinmaterial verwendet werden. Auch wenn bei eintretenden Rutschungen schnelle Abhülfe Noth thut, kann unter Umständen eine Holzkonstruktion vorzuziehen sein.

Im Allgemeinen wird man ähnlich den Strebepfeilern Streben in die Böschung einlegen und zwar je nach Bedürfniss in Abständen von *0,5 bis 2,0 Meter*. Unten stemmt man die Streben gegen eingerammte Pfähle, die unter sich noch durch Gurte verbunden werden können. Auch vor die oberen Köpfe wird man zweckmässig Pfähle schlagen, welche den Erdschub aufnehmen und auf die Streben übertragen. Bei sehr weichem Materiale wird man hinter diese Pfähle Bohlen oder Balken legen.

Specielle Verhältnisse können natürlich Modifikationen bedingen. Da indess Holzkonstruktionen nur sehr selten in Anwendung kommen, so verzichten wir auf eine eingehendere Besprechung.

§. 137. Einschnitte in Boden mit Sohlenauftrieb. Wenn sich unter der Planie weicher Boden befindet, so entstehen hierdurch mannigfache Uebelstände:

1. Der Oberbau gewinnt keine feste Lage.

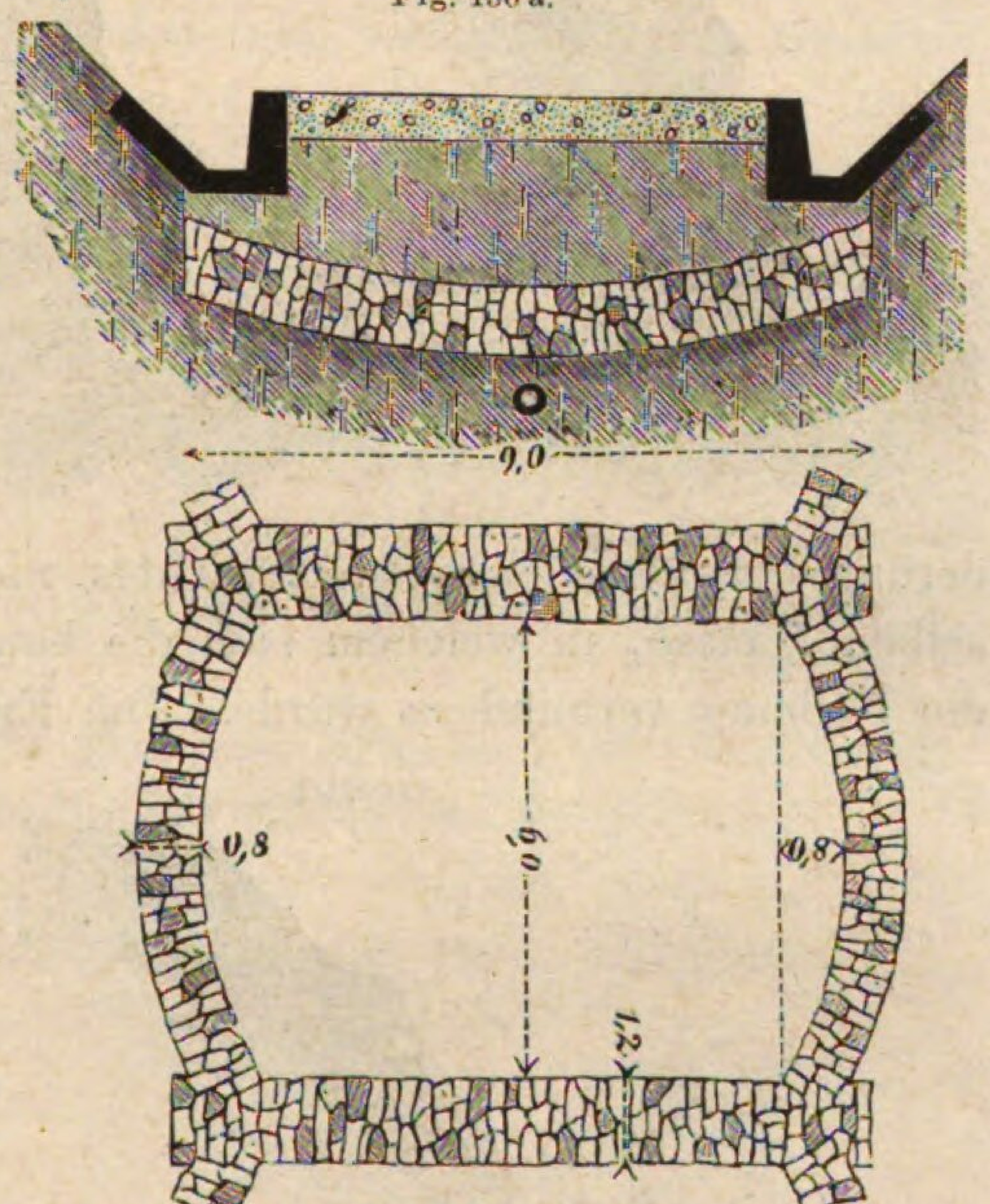
2. Die Erdmasse kann durch den Druck der auf beiden Seiten der Planie liegenden Erdmassen empor gedrückt werden.

3. Diese Erdmassen können sich aber auch nach der Mitte der Planie hin verschieben (Fig. 131, S. 182).

4. Etwa anzuwendenden Stützungen zur Sicherung der Böschungen lässt sich kein sicheres Widerlager geben.

Eine Austrocknung des Bodens durch Sickerkanäle ist jedenfalls das geeignetste Mittel. Bei grosser Höhe der weichen Schicht ist eine vollständige Austrocknung nicht so leicht möglich, namentlich bei den allerdings selten vorkommenden Einschnitten in Torf. Auch kann man die zur Austrocknung nöthige Zeit oft nicht abwarten, um die Böschungen zu sichern. In diesem Falle ist es zweckmässig, die Erde bis zu einer gewissen Tiefe auszuheben und durch Steinmaterial zu ersetzen, damit dieses durch sein grösseres Gewicht das Gleichgewicht herstelle. In dieser Weise gewinnt man auch zur Stützung der Böschungen ein Widerlager.

Fig. 156 a.



Bahn von Paris nach Mühlhausen. — 1/200 n. Gr.

Handelt es sich hauptsächlich um ein Widerlager für Stützungen der Böschungen, so genügt es, einzelne Steinrippen unter der Planie anzuordnen, welche an den Seiten durch horizontale Bögen verbunden werden. Die Rippen kann man gegen den Auftrieb als umgekehrte Gewölbe anordnen (Fig. 156a). Wählt man zur Stützung der Böschungen Strebepfeiler, so kann man die horizontalen Bögen auf derjenigen Seite, wo die Strebepfeiler liegen, weglassen und die Strebepfeiler direkt auf die Rippen stossen lassen; stossen die Rippen auf der andern Seite auf festen Boden, so kann man auch hier die horizontalen Bögen weglassen (Einschnitt der österreichischen Staatsbahn bei Lesgau).

§. 138. Einschnitte in festem Felsen. Im Allgemeinen lassen sich die Böschungen in festem Felsen mit beliebiger Steilheit anlegen; gewöhnlich wählt man $\frac{1}{5}$ *bis* $\frac{1}{10}$*fache* Böschung (Fig. 157). Vertikale Böschungen würden sich wohl häufig erhalten, jedoch vermeidet man

sie gern, da die abbröckelnden Steine leichter auf die Planie gelangen; bei gehöriger Vorsicht sind sie immerhin zulässig.

Sind Klüfte vorhanden, so können unter Umständen Felsparthien mit flacherer Böschung zu beseitigen sein.

Nur bei geschichtetem Felsen muss bei der Wahl des Böschungswinkels sehr vorsichtig zu Werke gegangen werden. Während sich diejenige Böschung, an welcher die Schichten nach dem Gebirge zu fallen, meist sehr steil anlegen lässt (Fig. 158), muss die Böschung, an welcher die Schichten nach dem Einschnitte zu fallen, oft flach angelegt werden (Fig. 159). Wenn zwischen den Schichten nur Reibung vorhanden ist, so würde eine flachere Böschung oder eine Verminderung des abrutschenden Gewichtes nichts nützen, weil sich in demselben Maasse, in welchem sich die bewegende Kraft vermindert, auch die Reibung vermindern würde. Die Erfahrung hat aber gelehrt, dass

Fig. 157.

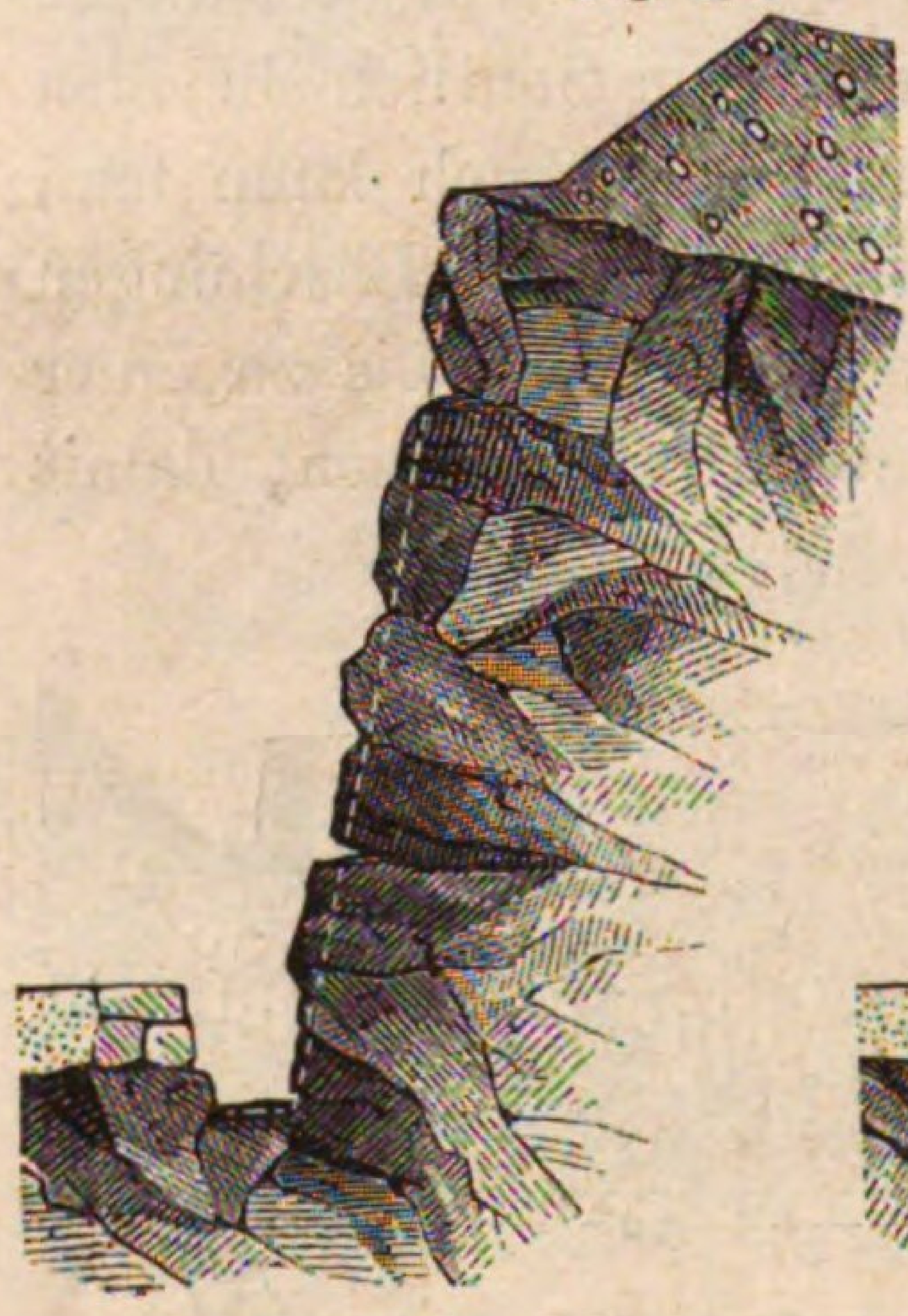


Fig. 158.

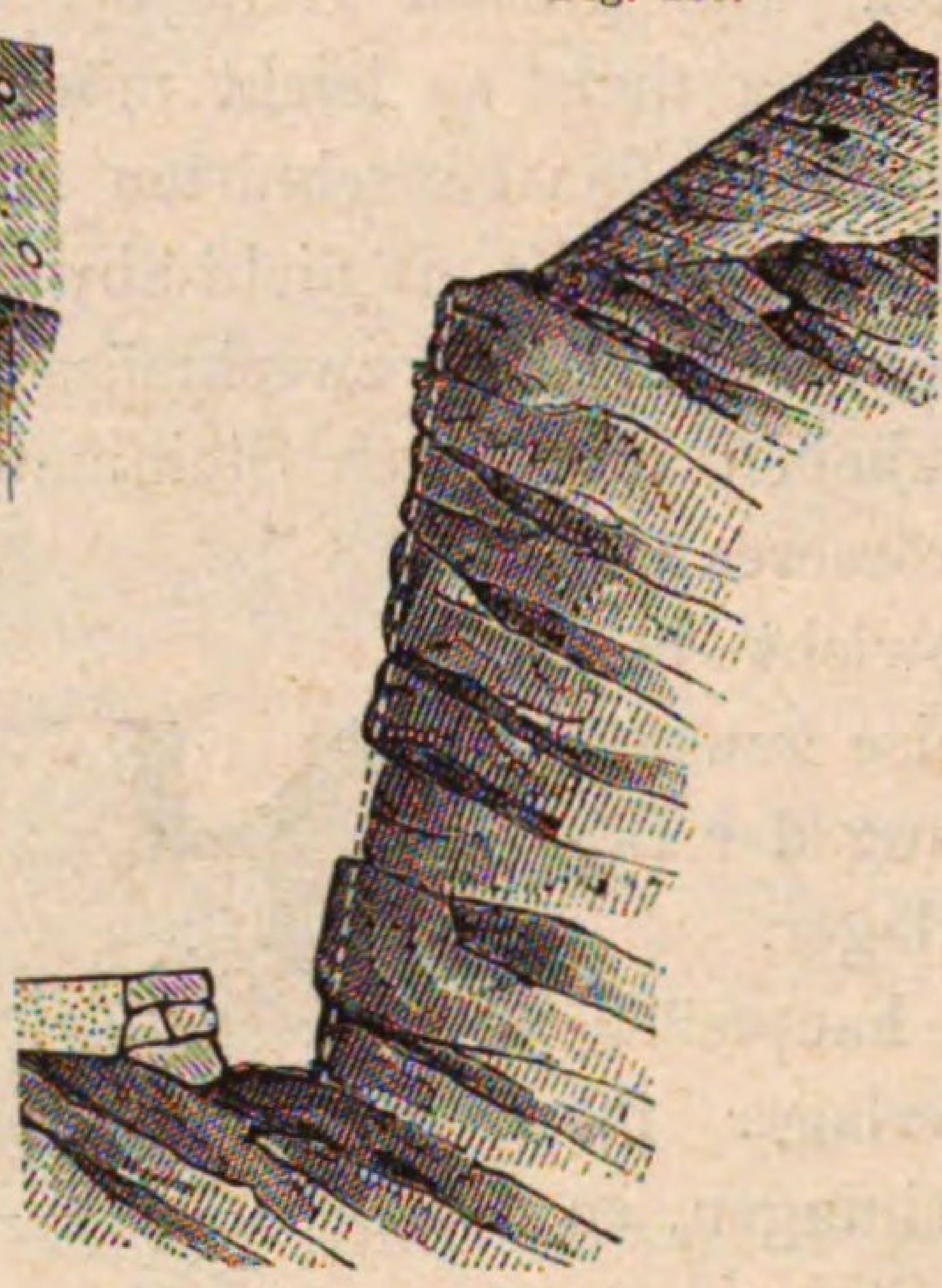


Fig. 159.

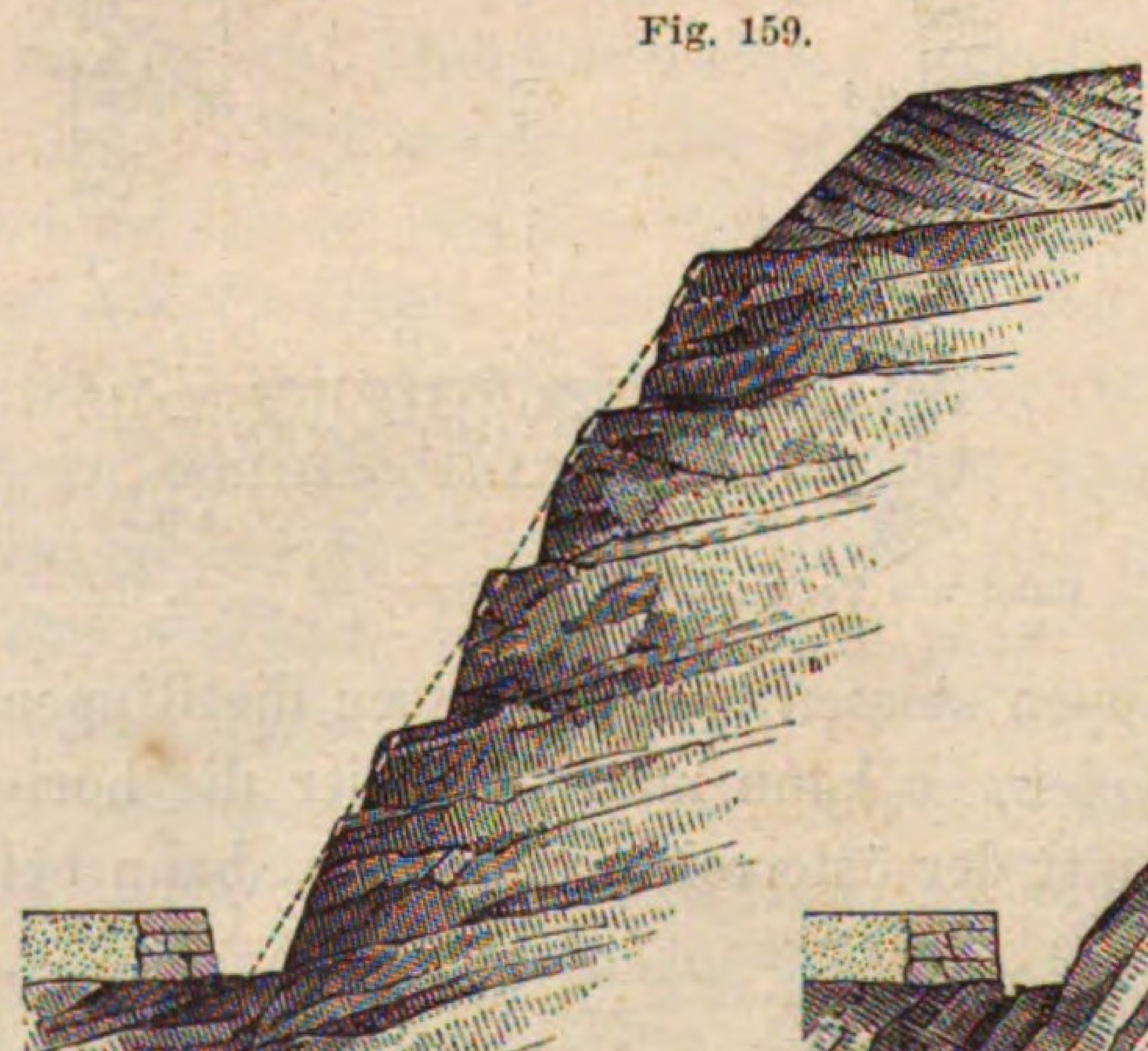
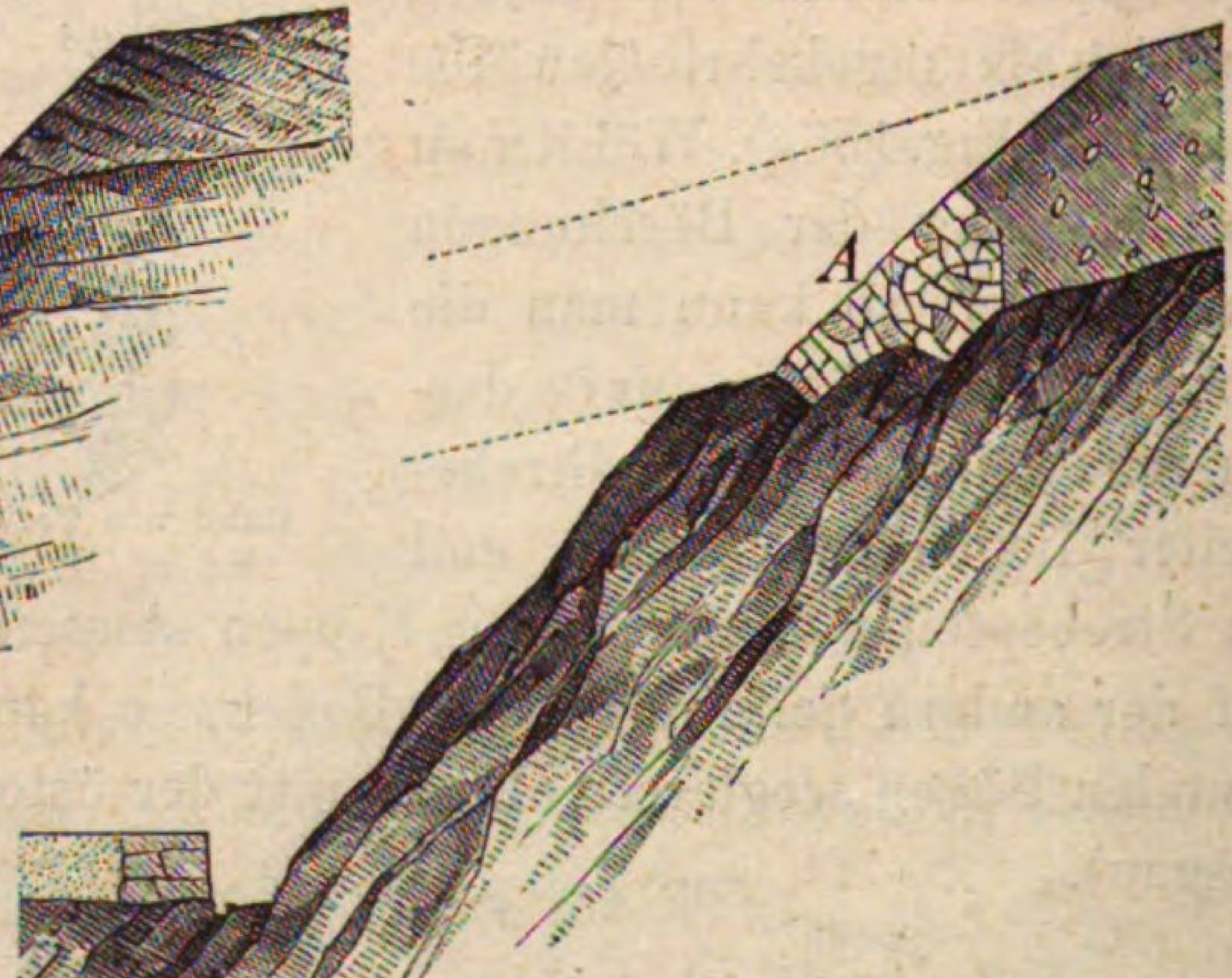


Fig. 160.



man einem Abrutschen durch Abflachen oft Einhalt thun kann, so dass also zwischen den Schichten Kohäsion thätig sein muss. Die Kohäsion

wird durch das Abflachen nicht geändert, während die bewegende Kraft vermindert wird. Kommen zwischen den Schichten glitschige Tonschichten vor, so wird oft eine ebenso flache Böschung nöthig, als bei Einschnitten in Erde (Fig. 160). Die Arbeit wird hier oft erleichtert, wenn man die Böschung, den Schichten entsprechend, treppenartig anlegt (Fig. 159). Entwässerungen durch in den Felsen eingesprengte Sickerkanäle, selbst bergmännische Entwässerungen, können zuweilen zum Ziele führen und billiger ausfallen, als Abflachungen.

Bei steiler Lage der Schichten wird häufig eine den Schichten parallele Abböschung das beste sein (Fig. 160).

Etwa vorkommende grössere Klüfte und Höhlen wird man meist durch Ausmauern unschädlich machen können.

§. 139. Einschnitte in mildem Gesteine. Im Allgemeinen wird hier eine flachere Böschung anzuwenden sein, wie beim festen Gesteine und zwar je nach Umständen eine *1*, $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$*fache* Böschung. Hierbei ist natürlich auf die Verwitterungsfähigkeit Rücksicht zu nehmen. Sehr leicht verwitternder Felsen, wie Mergel etc., ist am besten von vornherein als lose Erdmasse abzuböschen. Wenn festes Steinmaterial billig zu haben ist, so kann man meist eine steile Böschung erhalten, indem man dem Verwittern durch Anlage einer schwachen Verkleidungsmauer vorbeugt.

Das im vorigen §. über den Einfluss der Schichtungsverhältnisse Gesagte gilt natürlich auch hier.

Sehr häufig tritt der Fall ein, dass feste Schichten mit losen Schichten, selbst erdigen Schichten, wechseln. Wenn hierbei die festen Schichten untergeordnet und unregelmässig eingelagert sind, so pflegt man die Böschung im Allgemeinen ohne Rücksicht auf die festen Schichten anzuordnen und die letzteren wohl als unregelmässige Köpfe vorspringen zu lassen (Fig. 161), um die Sprengarbeit zu reduciren. Bei regelmässigerer Anordnung der festen Schichten kann man dieselben aber auch steil böschen. Wenn die losen Schichten unter starken festen Schichten liegen, so kann man dieselben meist unter Anwendung einer Verkleidungsmauer ebenfalls steil böschen (Fig. 162 und 163). Da auf eine solche Mauer der Druck der darauf ruhenden Felsenschicht hinsichtlich der Umkantung der Mauer durch den Erddruck in günstigem Sinne wirkt und ausser-

Fig. 161.

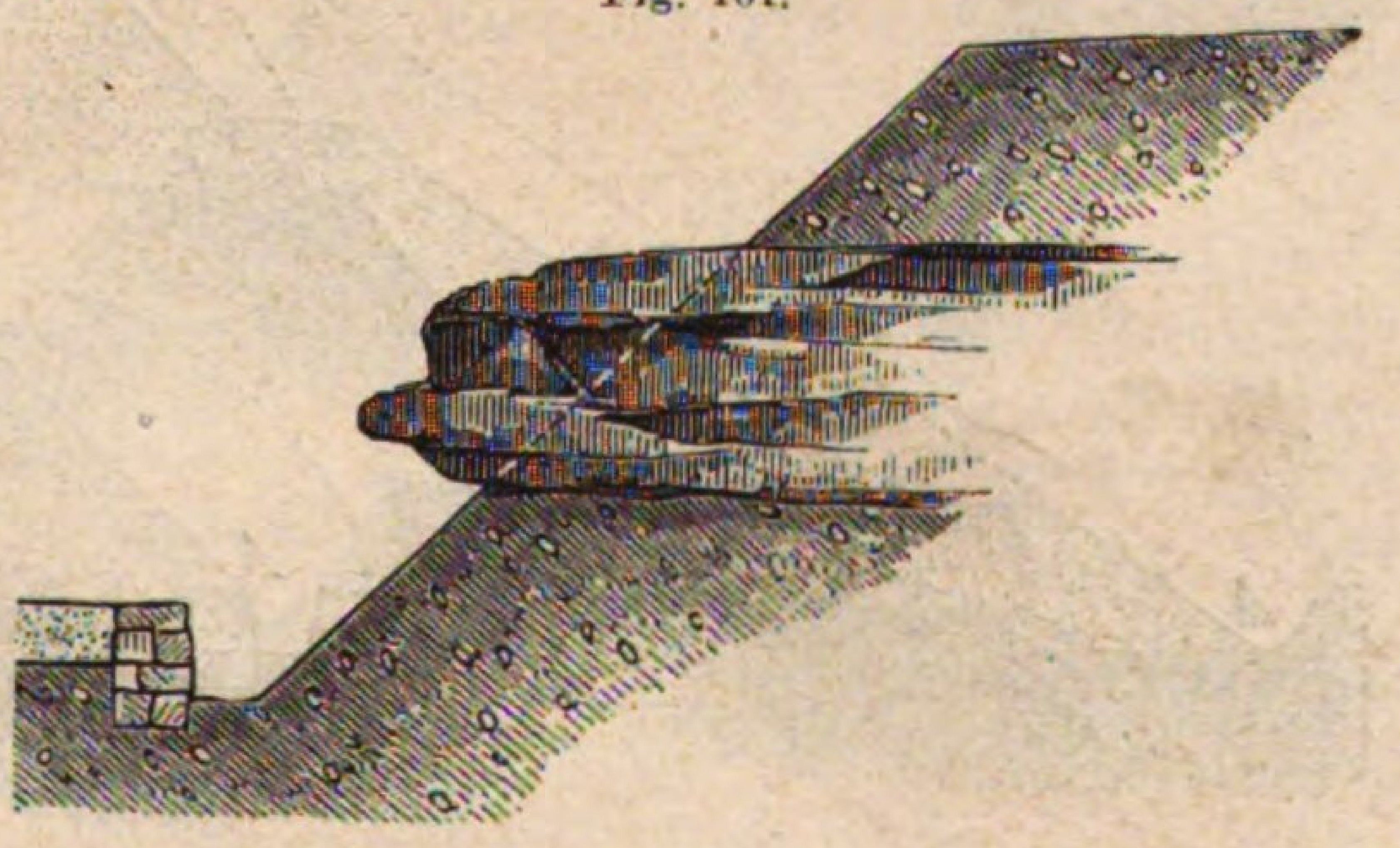
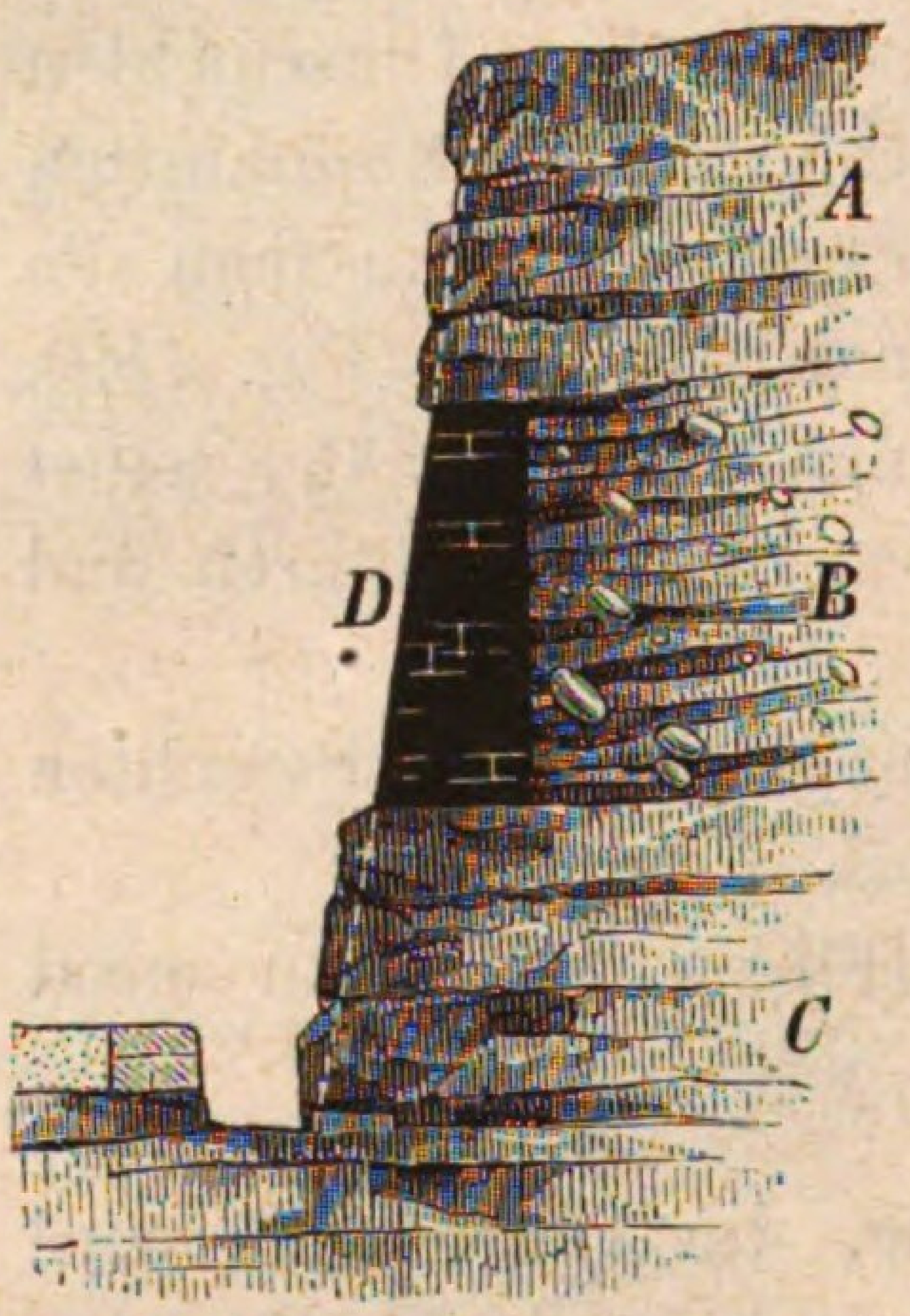
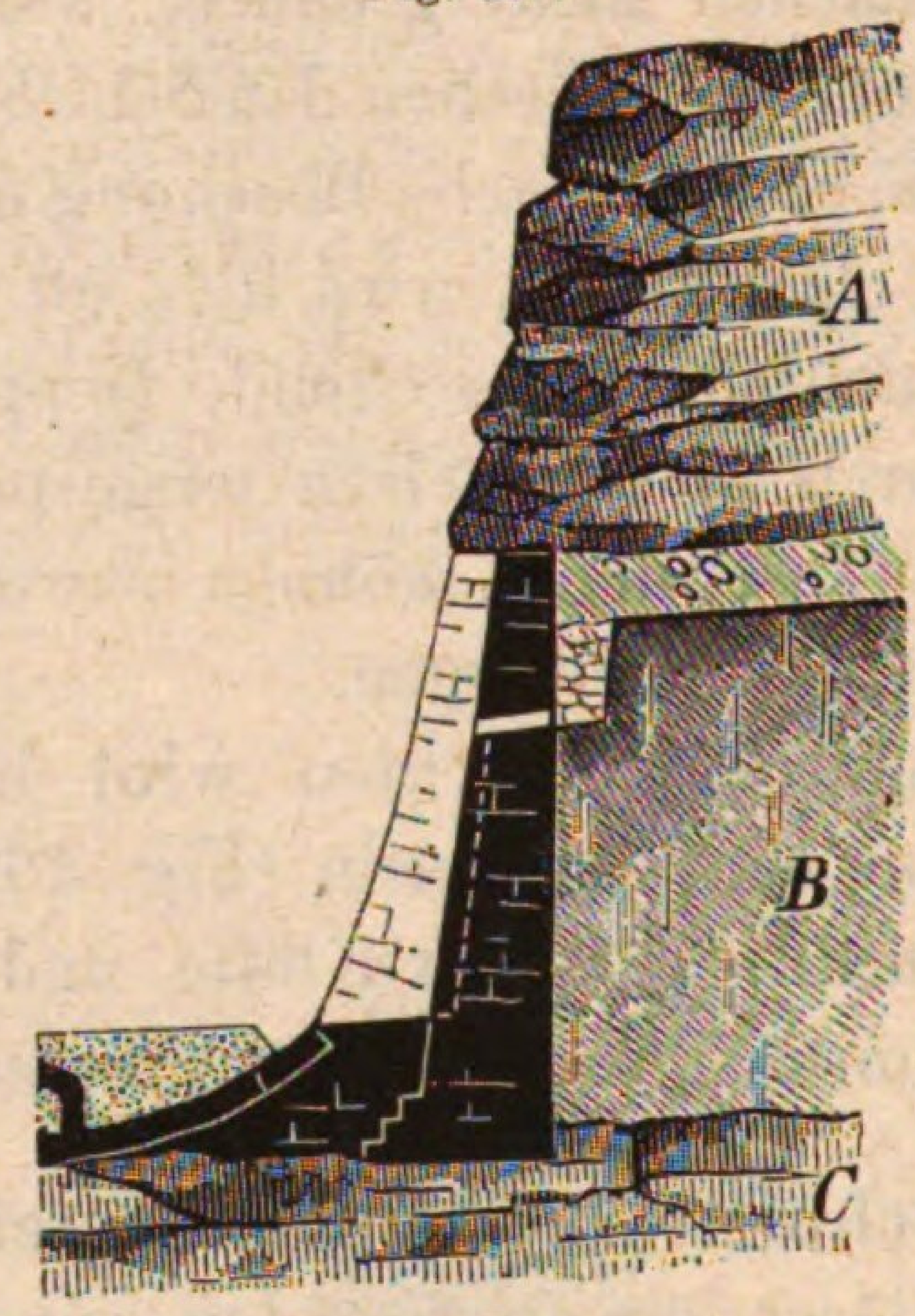


Fig. 162.



Gewöhnliche Anordnung.

Fig. 163.



London-Brimingham-Bahn. — $^1/_{300}$ n. Gr.

dem bei einem Umkanten die Reibung zwischen der Mauer und der auf ihr ruhenden Felsschicht zu überwinden ist, so kann die Dicke derselben gegenüber der einer gewöhnlichen Futtermauer schwach gewählt werden. Natürlich ist für einen gehörigen Abzug des Wassers aus der hinter der Mauer befindlichen Gebirgsmasse zu sorgen.

§. 140. Wiederherstellung abgerutschter Böschungen. Treten nur Abbröckelungen ein, so ist es noch Zeit, stärkeren Abrutschungen vorzubeugen, indem man die Ursachen dieser Abbröckelungen beseitigt, nach Umständen also eine flachere Böschung, eine Bedeckung, eine Entwässerung u. s. w. anbringt.

Stärkere Abrutschungen verschütten die Gräben, häufig auch die Planie. Hier wird zunächst, wenn die Bahn bereits im Betriebe ist, eine Beseitigung des Materials von der Planie nothwendig werden, wo-

Fig. 164.

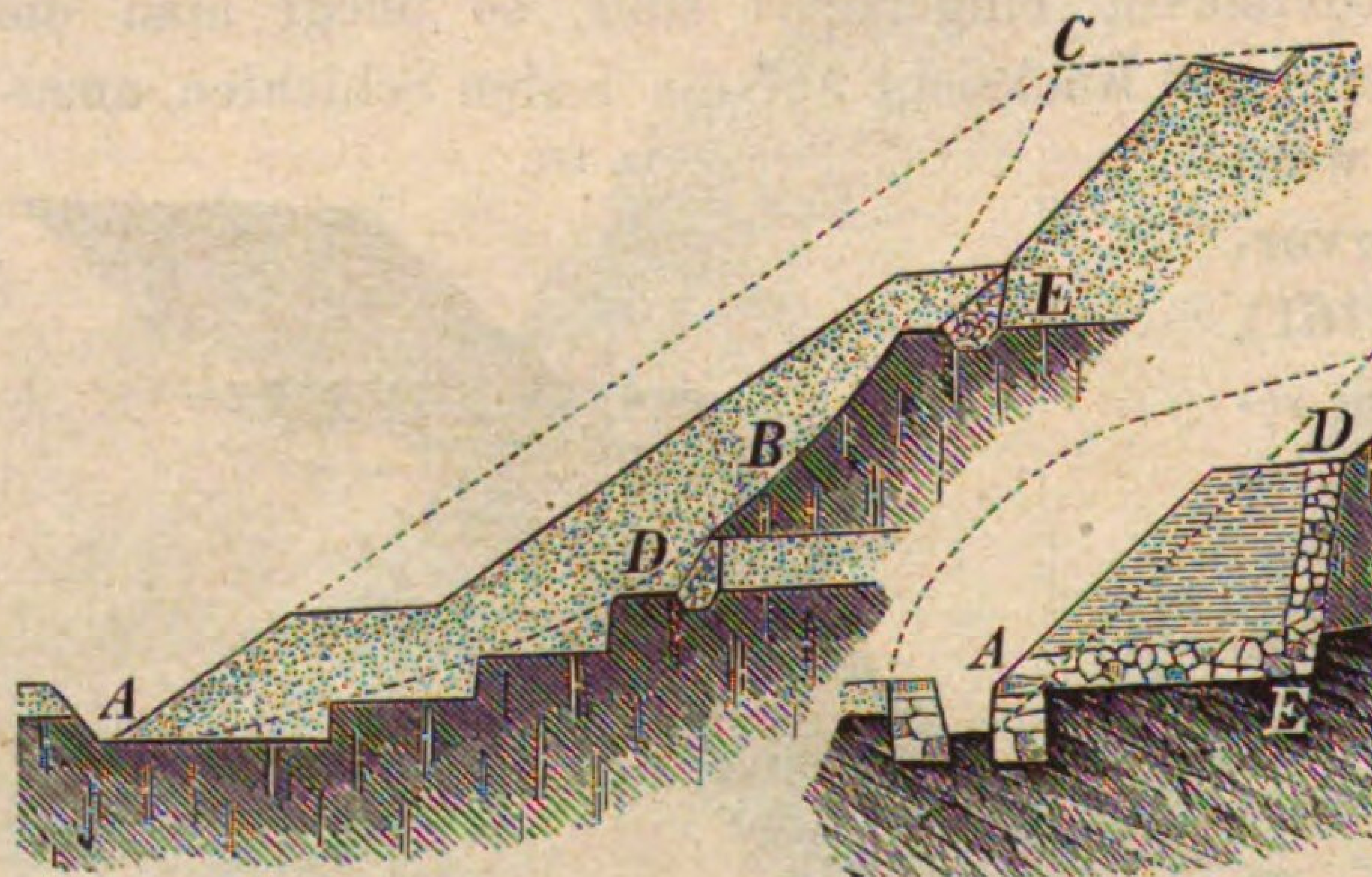
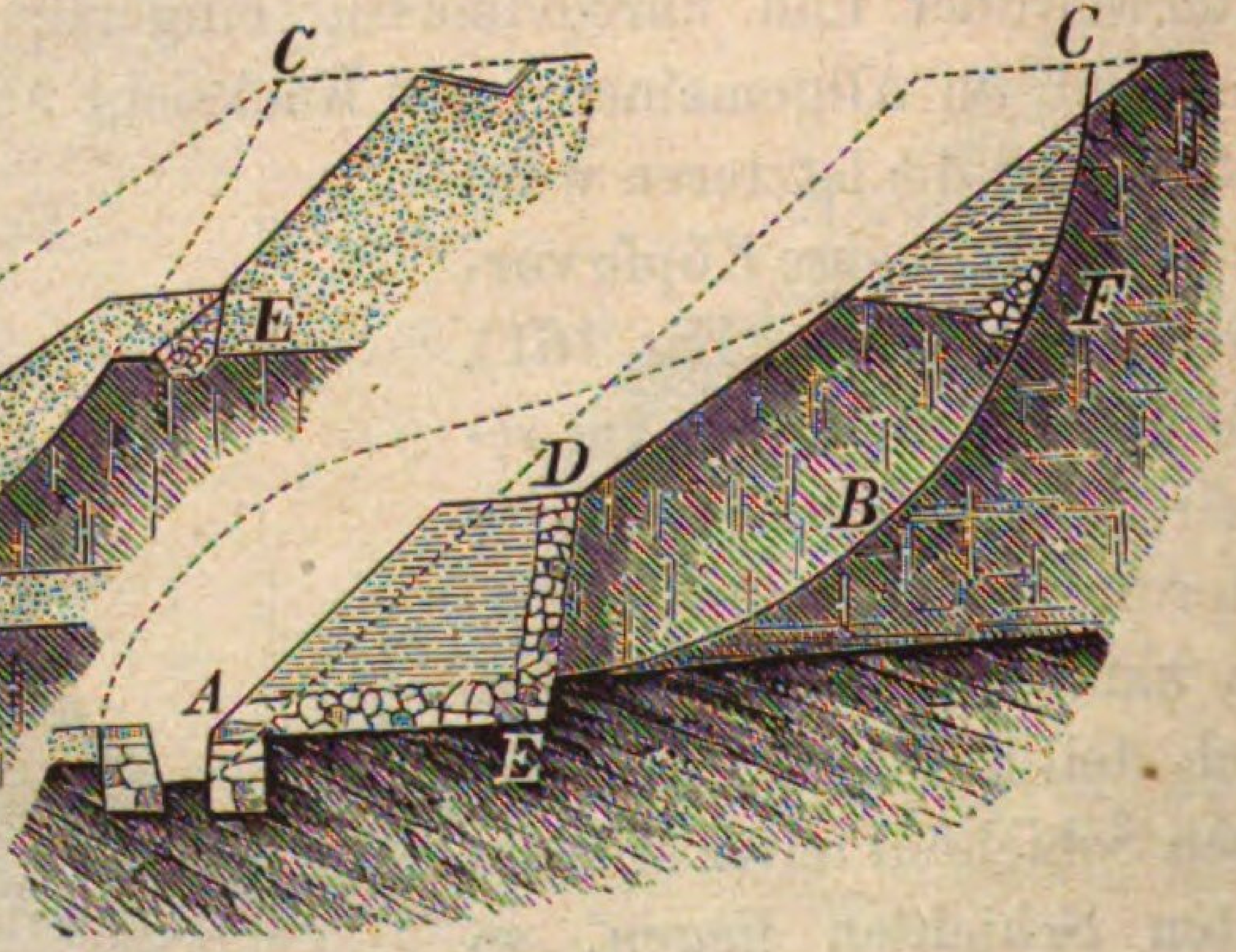


Fig. 165.

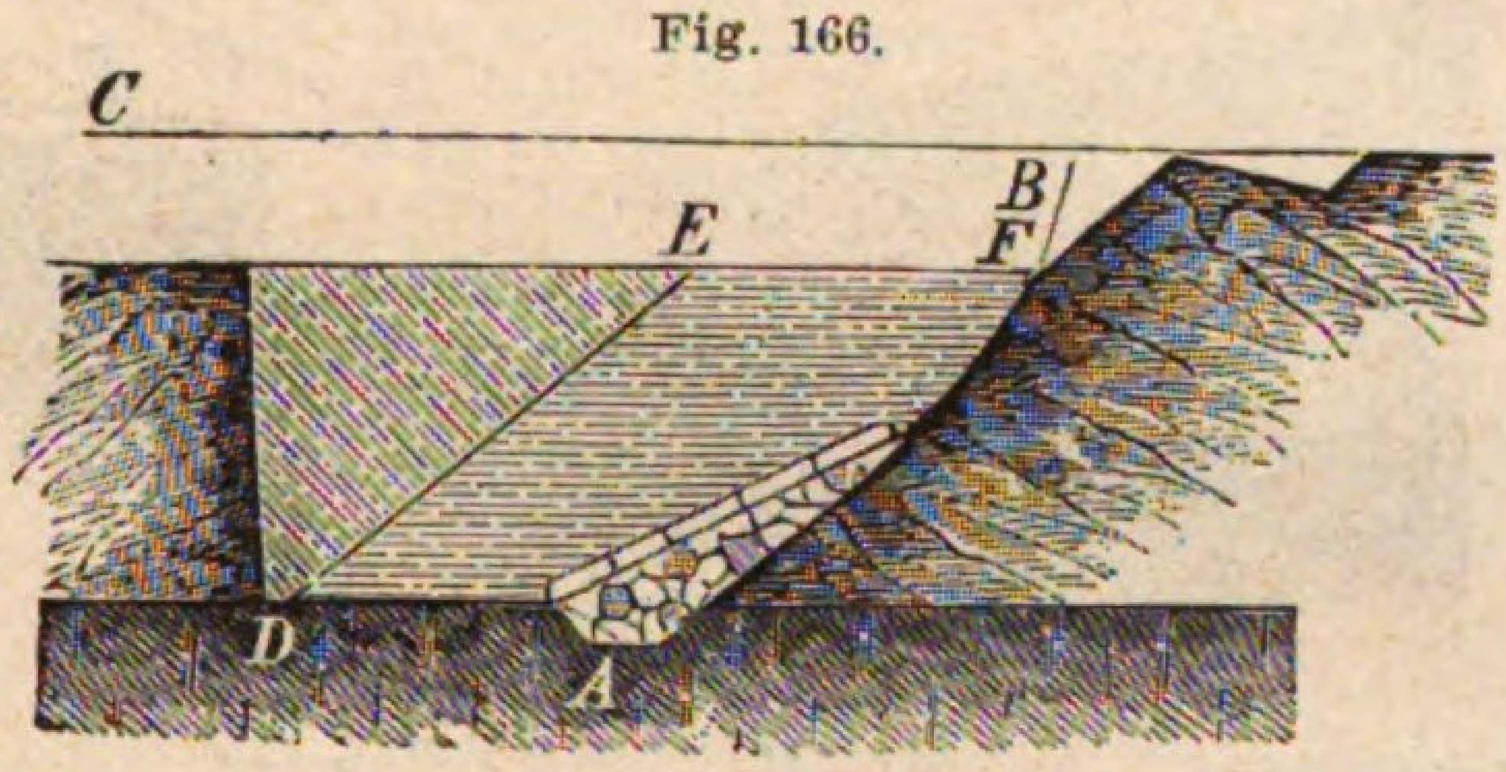


bei indess oft besondere Vorsichtsmassregeln nöthig werden, um ein Nachrutschen zu verhüten. Zuweilen hat man die ganze in Bewegung gerathene Masse beseitigt und sodann Mittel angewendet, um weiteren Abrutschungen vorzubeugen, z. B. eine Abflachung in Verbindung mit

Entwässerungen und Stützungen. Meist aber wird es, um die Arbeiten möglichst zu reduciren, zweckmässig sein, die abgerutschte Masse so weit als thunlich zu belassen, ein Weiterrutschen derselben durch Abflachungen, Gegenbanketts, Strebepfeiler und Entwässerungen zu verhüten und ebenso auch weiteren Abrutschungen des verbliebenen Bodens vorzubeugen.

So z. B. wird bei der Massenabrutschung (Fig. 165) ein Weiterrutschen durch ein Gegenbankett *AED* verhütet; die Anlage desselben hat in gleicher Weise zu erfolgen, wie wir dies bei den Dämmen kennen lernen werden. Um das Bankett möglichst breit zu erhalten, ist die äussere flache Grabenböschung durch eine Mauer *A* ersetzt. Das Abrutschen der oberen verbliebenen Böschung *CF* wird durch ein Gegenbankett und einen Sickerkanal *F* oder durch Abflachen und einen Sickerkanal verhütet.

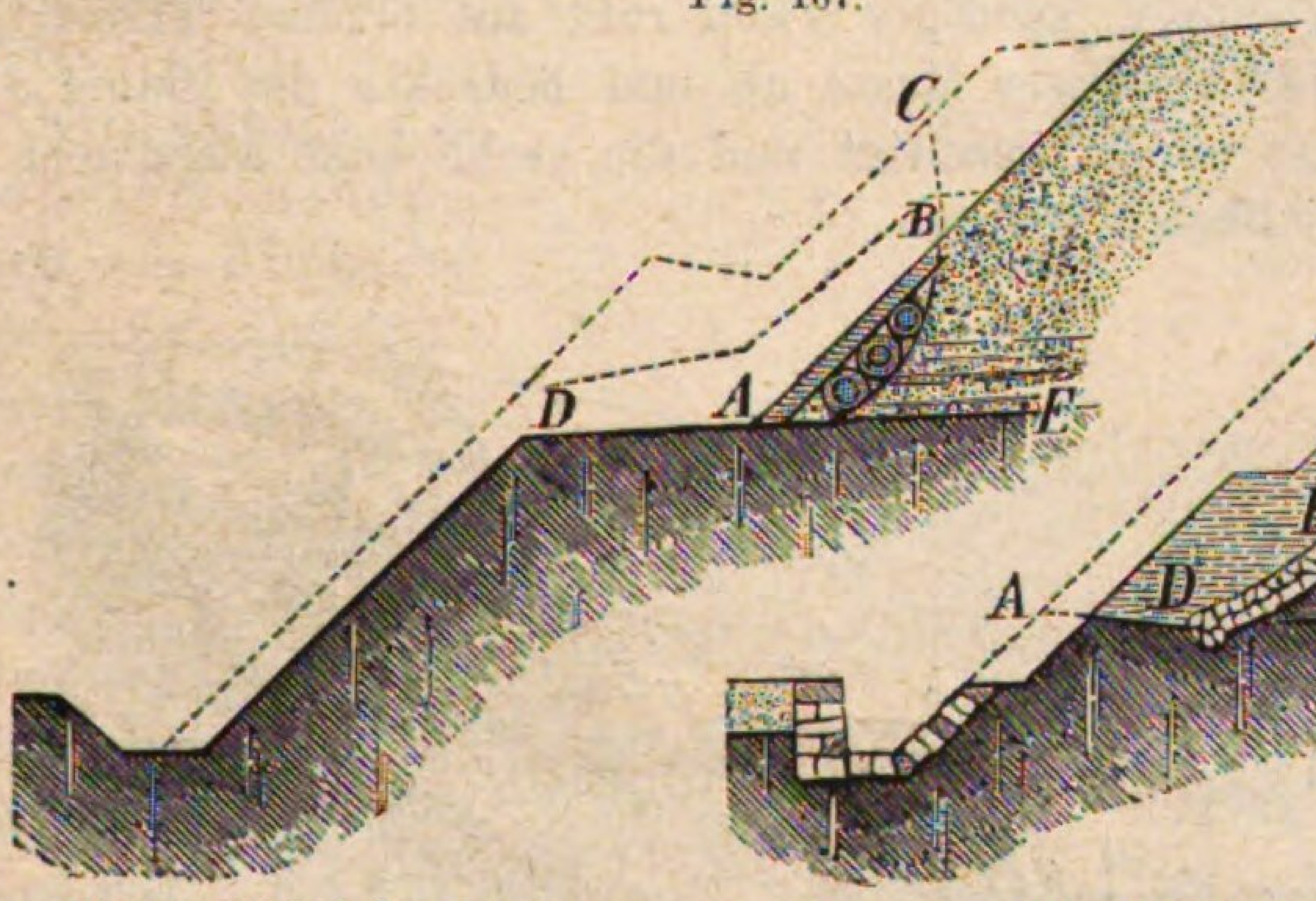
Fig. 166.



In Fig. 166, welche eine Grundabrutschung darstellt, ist einem Weitergreifen der Abrutschung durch ein Gegenbankett *ADEF* und einen Sickerkanal *A*, sowie durch Abflachen der oberen Böschung *FB* und Anlage eines Saumgrabens, vorgebeugt. Das Weiterrutschen der in Bewegung gerathenen Masse kann hier in gleicher Weise, wie im vorigen Falle, verhütet werden.

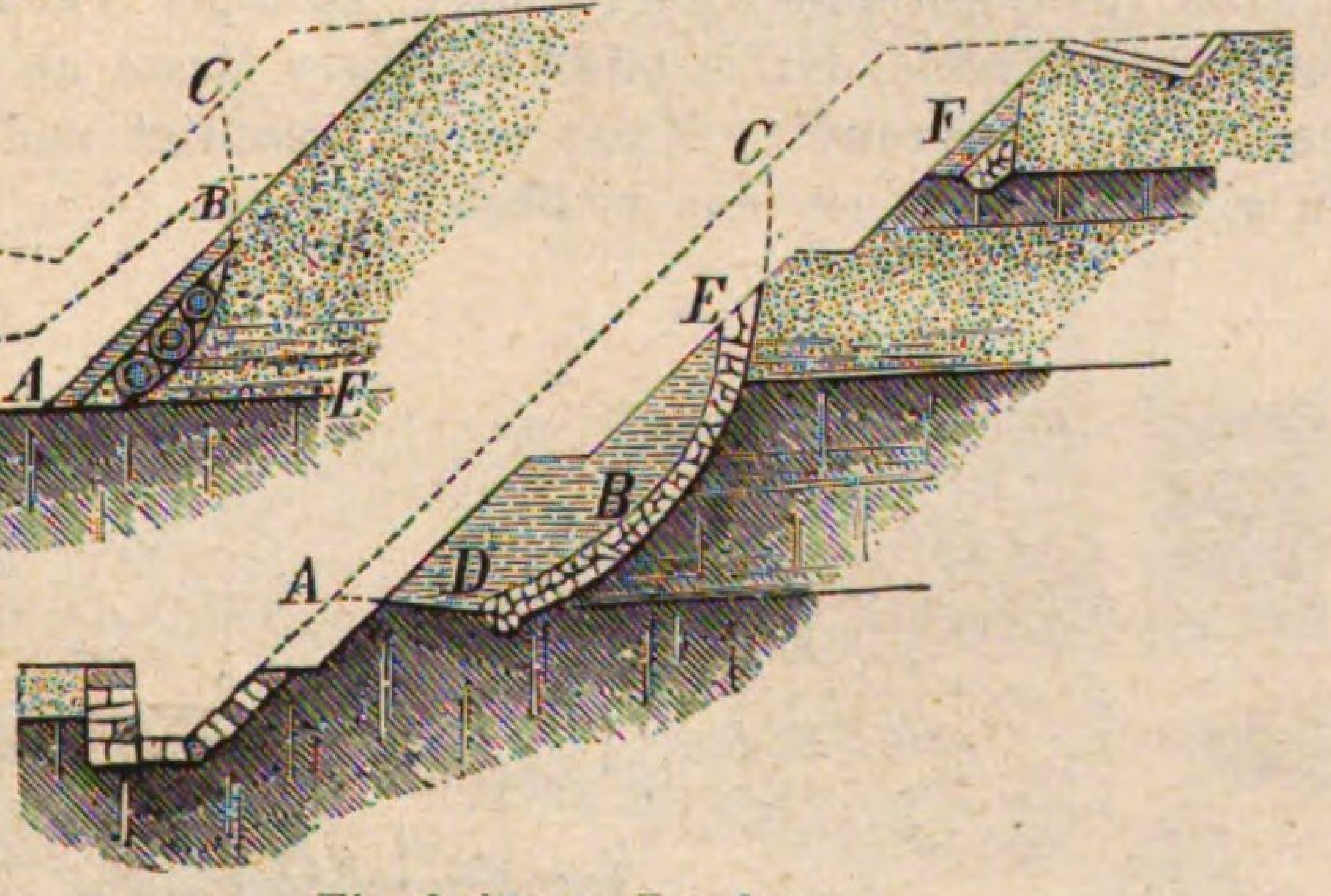
Bei kleinen Abrutschungen kann es allerdings räthlich erscheinen, die abgerutschte Erde zu beseitigen oder nur zum Theil zu Sicherungsanlagen zu verwenden. So ist in Fig. 164 ein Weiterrutschen durch

Fig. 167.



Einschnitt bei Saarburg.

Fig. 168.



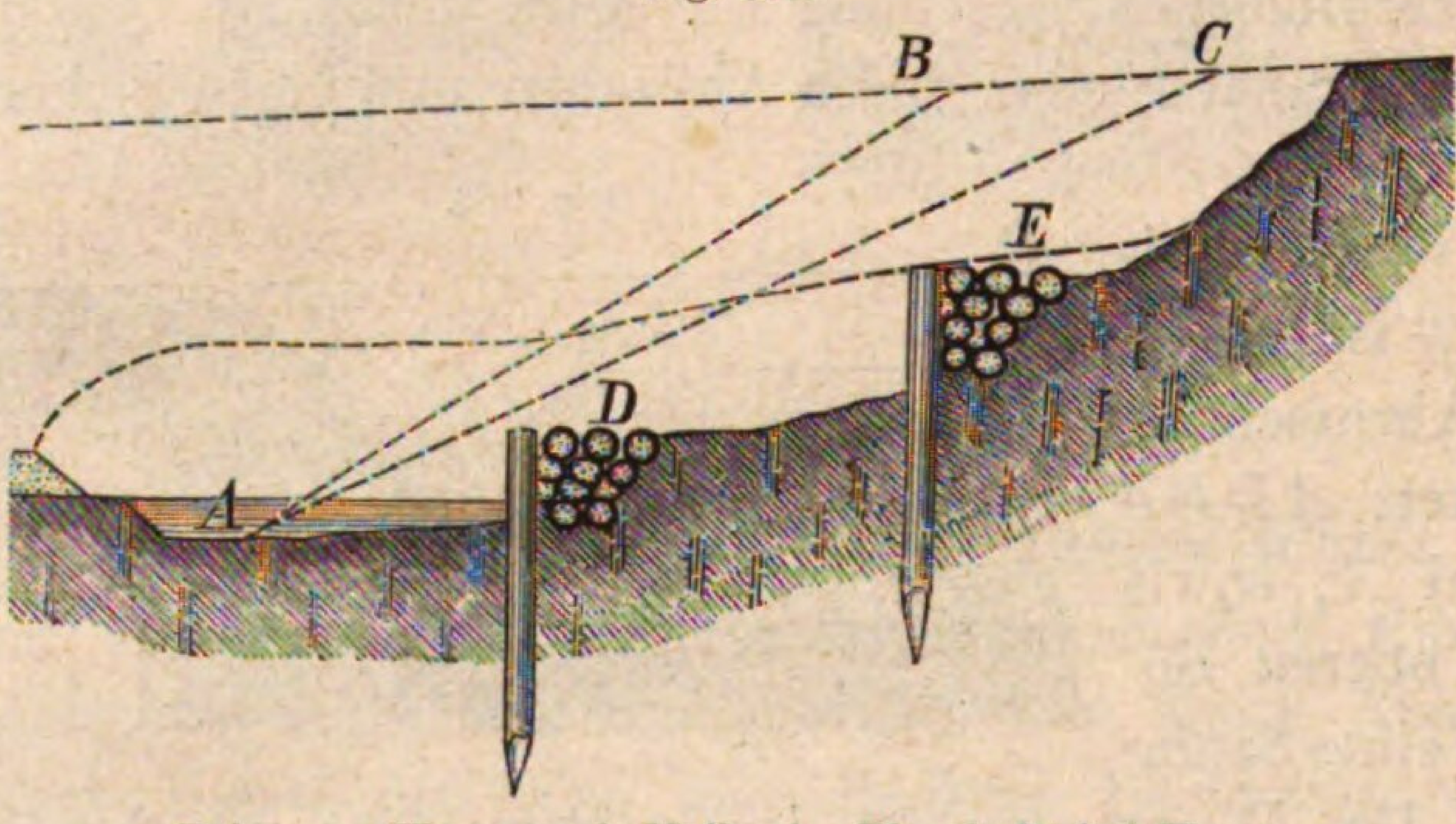
Einschnitt von Rouchamp.

die Sickergräben *D* und *E*, sowie durch eine Bedeckung mit dem trocknen und durchlässigen, der abgerutschten Erde entnommenen Boden verhindert; der übrige Theil der abgerutschten Erde ist beseitigt. In

Fig. 167 hat das auf einer Thonbank abfliessende Wasser den darüber liegenden Sand mit fortgerissen; einem Weitergreifen ist durch Anwendung von Steinfaschinen als Entwässerungsanlage vorgebeugt.

In vielen Fällen bildete die zu grosse Steilheit der Böschung allein oder in Verbindung mit dem Einflusse des Wassers die Ursache der Abrutschung. Hier ist natürlich ein Abflachen der Böschung nothwendig. In Fig. 168 war die Böschung der mit vielen Wasseradern durchzogenen thonigen Erde anfangs *1-fach*; nach dem Eintritte einer Abrutschung *ABC* wendete man eine Abflachung auf eine durchschnittlich *$1\frac{1}{2}$fache* Böschung, sowie Sickeranlagen *DBE* und *F* an.

Fig. 169.



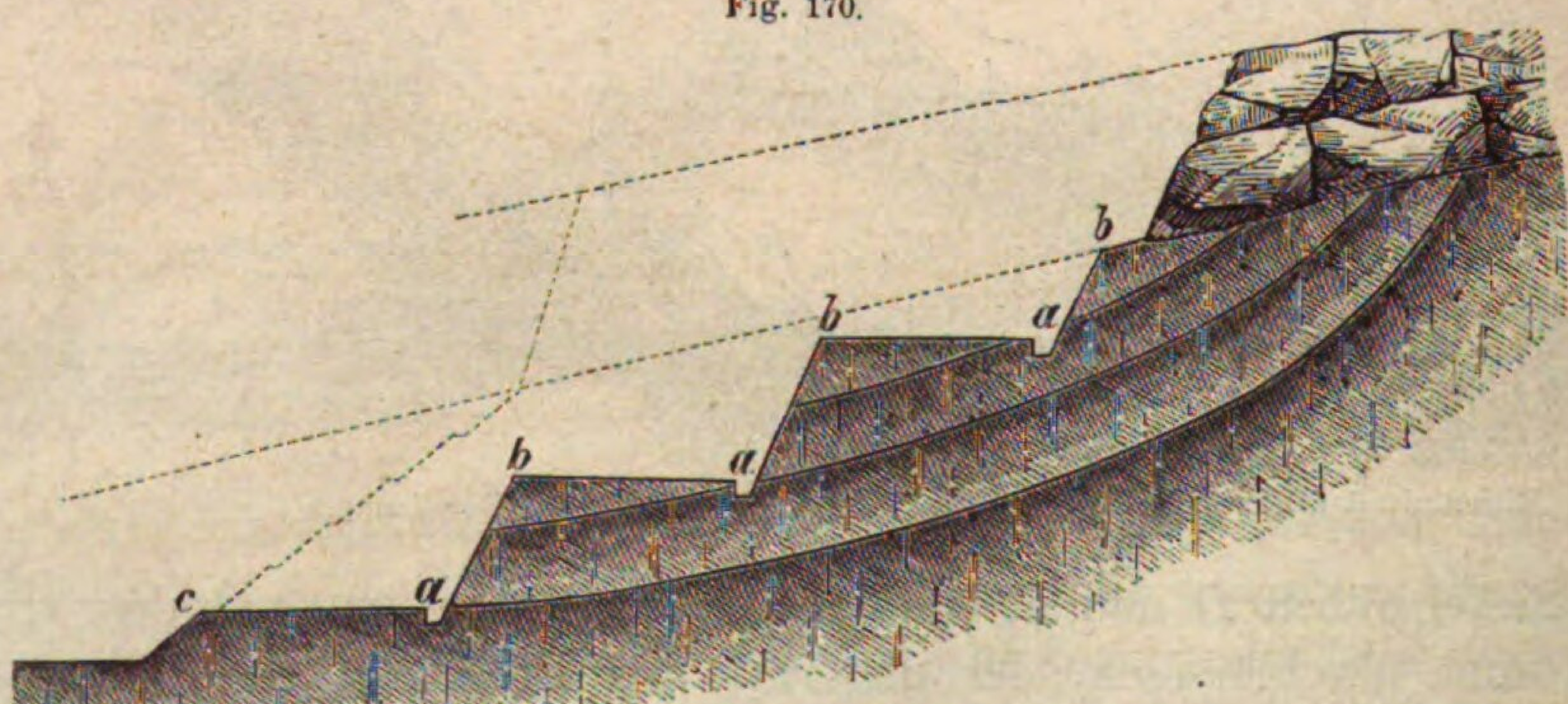
Bahn von Komo nach Mailand. Einschnitt bei Komo.

Das zuweilen angewendete Einrammen von Pfählen unter gleichzeitiger Benutzung von Faschinen (Fig. 169) ist weniger zu empfehlen, da es kostspielig ist und die Pfähle in dem erweichten Boden nicht gut Stand halten.

Da bei der Wiederherstellung der Böschungen Alles in Anwendung kommen kann, was für die Anlage neuer Böschungen erörtert wurde, so können wir uns weiterer Bemerkungen hierüber enthalten.

Beispiele. Einschnitt der Bahn von London nach Croydon bei New-Cross von 23^m Tiefe; gelber, sandiger Thon ruht auf blauem Thone; auf letzterem rutschte der erstere in grosser Masse ab und bedeckte die Planie $3{,}7^m$ hoch. Die abgerutschte Masse wurde beseitigt und die verbliebene abgeflacht. — In gleicher Weise ist man vielfach verfahren.

Fig. 170.

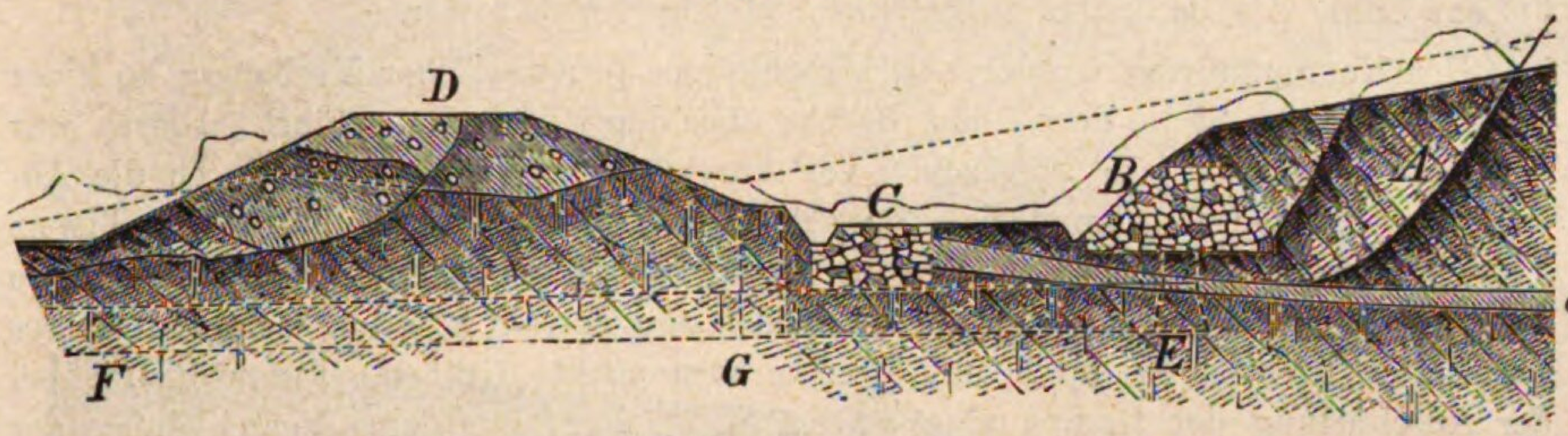


Einschnitt der Westphälischen Eisenbahn.

Einschnitt in der westphälischen Eisenbahn in drei übereinanderliegenden Thonschichten, welche von zerklüftetem Sandstein überlagert werden (Fig. 170). In Folge des auf den Thonschichten absickernden Wassers traten starke Abrutschungen ein. Ein Abflachen der Böschung durch drei Terrassen und Abführung des zu Tage tretenden Wassers in offenen Mulden *a*, sowie muldenförmige Abpflasterung der Absätze zur Abführung des Regenwassers zeigte sich von Erfolg.

Einschnitt der bairischen Staatsbahn (Augsburg-Lindau) bei Trüblings in Lehm, welcher auf festem Boden lagert. Auf *31 m* Länge, wo die grösste Gefahr bei Verzögerung vorhanden war, wendete man eine Pfahlstützung, im übrigen Theile eine Sicherung durch ein Steinprisma unter dem Graben und *2,6 m* von einander entfernte Strebepfeiler an (Fig. 144, Seite 189). — Anschnitt derselben Bahn bei Lamprechts. Nach Wegnahme der oberen festen Lettenschicht quoll der darunter liegende teigartige Letten hervor. Eine Anlage von Sickerdohlen in ge-

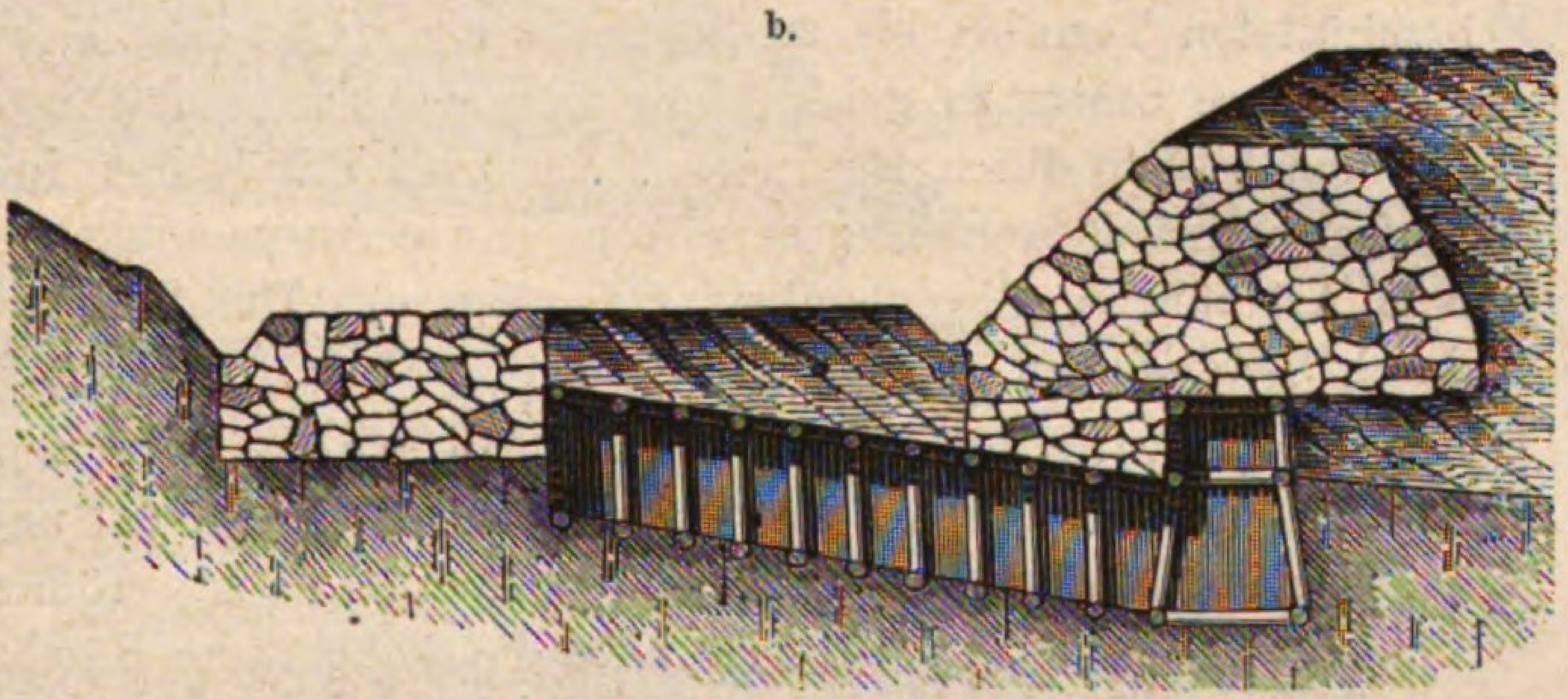
Fig. 171. a.



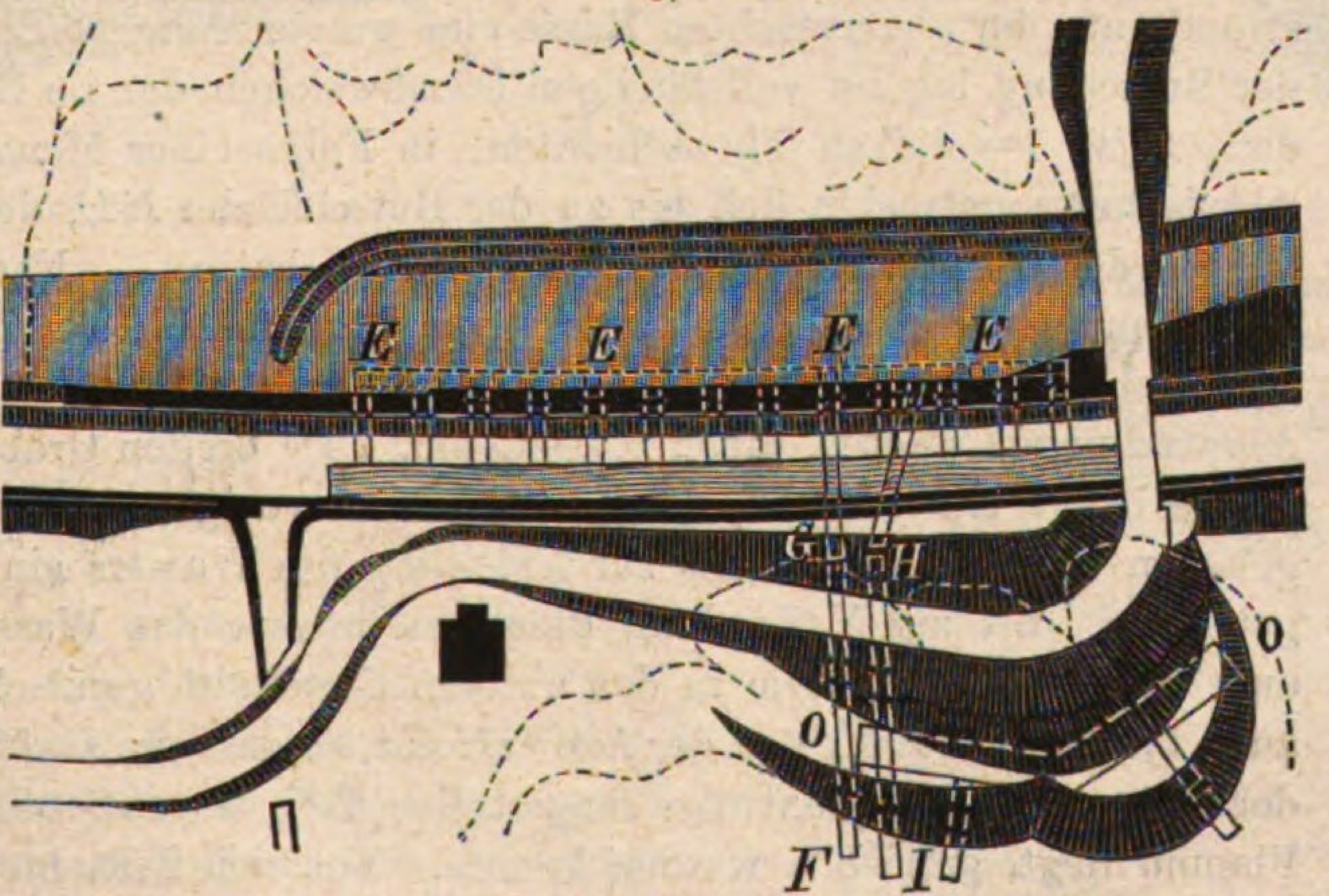
ringen Abständen blieb fruchtlos; das Verschieben dehnte sich bis auf *300 m* Entfernung von der Bahn aus. Die Anwendung von Steinprismen nach Fig. 154 (Seite 191) hatte den gewünschten Erfolg.

Einschnitt der Bebra-Hanauer-Bahn am Binz (Fig. 171). Der Einschnitt befindet sich in poröser, lehmiger Basalterde, welche durch eine fette Thonschicht *a* von dem festen, trockenen Thone getrennt ist. Nach ungewöhnlich nasser Witterung traten durch das Erweichen der Basalterde und der Thonmassen starke Rutschungen ein; das Terrain senkte sich *1,2 bis*

b.



c.



Einschnitt der Bebra-Hanauer-Bahn am Binz. — $^1/_{500}$, $^1/_{250}$ und $^1/_{2000}$ n. Gr.

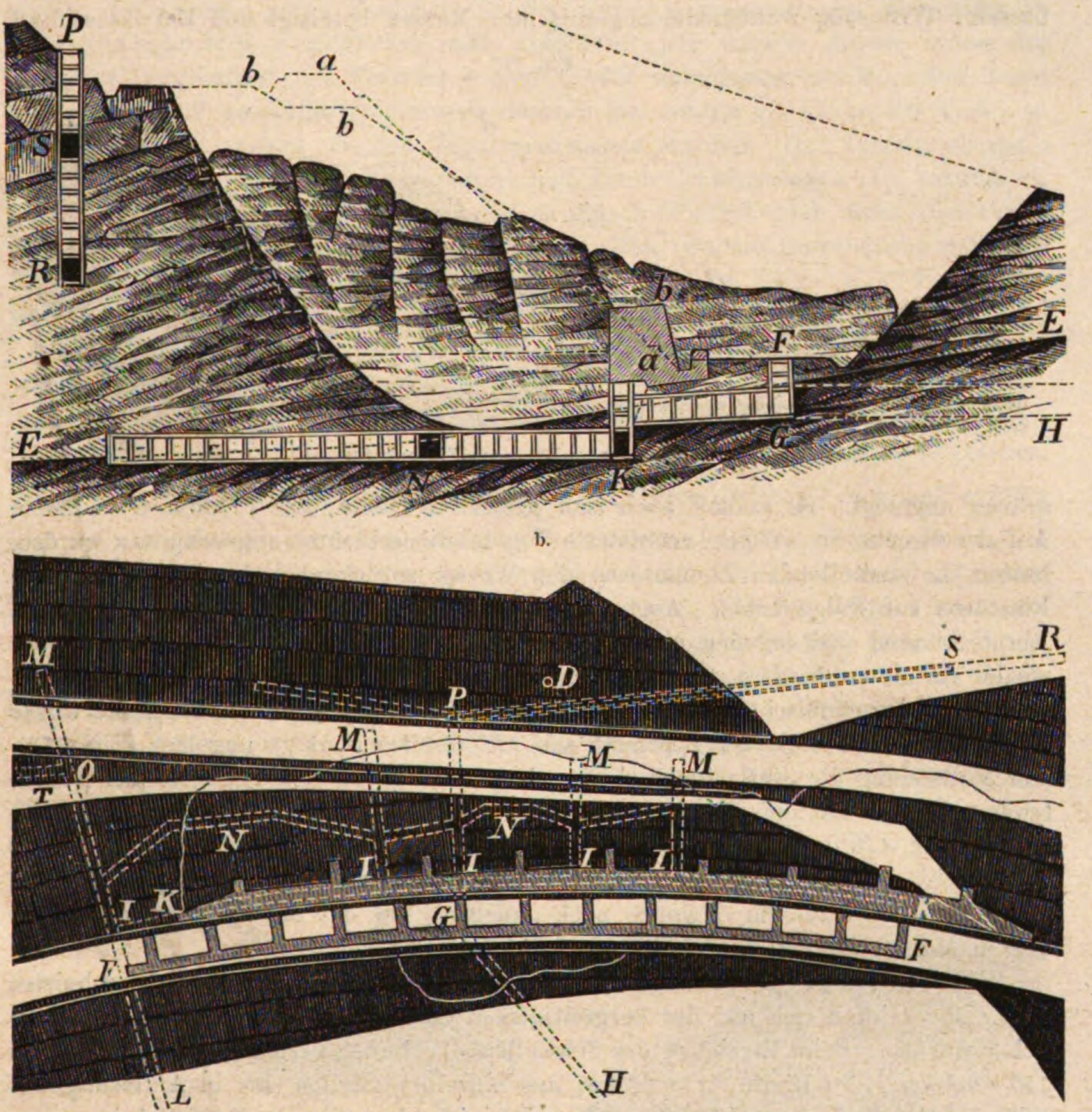
2,0^{m}, während sich die Böschungssohle circa *0,6*^{m} hob. Nachdem durch Beseitigen der abrutschenden Massen der Betrieb des Arbeitsgeleises gesichert war, wurde die Erdmasse in kurzen Strecken unter der Planie auf der Thalseite bis auf ungefähr *2,5*^{m} ausgehoben und der Aushub durch eine Steinpackung *C* ersetzt. Gleichzeitig wurde der Schacht *G* abgeteuft und von demselben und der Thalseite aus der Stollen *GF* zur Ableitung des Wassers aus der Steinpackung aufgefahren. Wegen der Kostspieligkeit und Aufhältlichkeit der Steinpackung sah man von einer Ausdehnung derselben auf die andere Hälfte der Planie ab. Man fuhr vielmehr unter der Böschung auf der Bergseite parallel zur Bahnaxe den Stollen *E* von vier Schächten aus auf und führte von demselben in Abständen von *7,9*^{m} Querschläge nach der Steinpackung (Fig. b und c), um hierdurch eine möglichst vollständige Entwässerung zu erzielen. Eine hierbei aufgeschlossene, Triebsand führende Quelle führte man durch einen besondern Stollen *HI* ab. Die in Rutschung befindlichen Massen stützte man durch ein Steinbankett *B*, nachdem vorher das Terrain über dem Stollen *E* bis zur Sohle des Bankettes aufgeschlitzt und ausgepackt war.

Der Kommunalweg wurde nach mehrmaliger provisorischer Verlegung an einer relativ günstigen Stelle durch eine Brücke über den Einschnitt geführt. Hierzu war eine Rampe erforderlich; aber schon vor Anschüttung derselben war durch die Ablagerung des Einschnittsmaterials das Terrain abgerutscht und hatte sich bis zu *125*^{m} Entfernung von der Bahnaxe aus *3,0 bis 4,5*^{m} Tiefe abgerollt. Man beseitigte die abgerutschte Masse bis zum anscheinend festen Terrain und durchschnitt letzteres nach allen Richtungen durch mit Steinen ausgepackte Gräben. Dennoch trat bei der Anschüttung der Rampe eine starke Abrutschung und eine Verschiebung des beschütteten Terrains bis zu *2*^{m} Tiefe ein. Um dem Fusse der neuen Schüttung eine sichere Stütze zu geben, hob man das zu beschüttende Terrain auf *2*^{m} Tiefe aus und bildete durch Einrammen von zwei Pfahlreihen in das feste Terrain, Verstrebung und Verschalung derselben, sowie Auspackung mit Steinen auf *3*^{m} Höhe eine Art inneres Gegenbankett *OO* (Fig. c). Die Steinpackung entwässerte man durch Sickerrinnen.

Doppeleinschnitt der Bebra-Hanauer-Bahn am Nirgelsberge. Hier liegen zwei Bahnschenkel in verschiedenen Höhen in ein und demselben Einschnitte, welcher in Rothschiefer, der von Kalk überlagert ist, eröffnet wurde. Kurz vor der Vollendung des Einschnittes rutschte die hohe linke Böschung im Rothschiefer ab, was auch das Nachstürzen der Kalkschichten zur Folge hatte (Fig. 172); gleichzeitig strömte aus der abgerutschten Masse eine grosse Menge Wasser hervor. Die Ursache der Rutschung lag im vollständigen Durchweichen der im Rothschiefer vorkommenden, *2 bis 8*^{cm} dicken Thonschichten, in Folge einer Menge innerer Quellen. Die Abrutschung erstreckte sich bis zu der Rutschfläche *EE*, deren Lage ein theilweises Heben der rutschenden Massen zur Folge hatte. — Nachdem die abgerutschte Masse auf der rechten Seite des unteren Planums bis zur Einschnittssohle beseitigt war, hob man mit Rücksicht darauf, dass sich auch an der rechten Böschung kleine Abrutschungen zeigten, einen *2,5*^{m} tiefen, *1,4*^{m} breiten Graben *FF* aus; gleichzeitig wurde bei *G* ein Schacht, dessen Sohle nur wenig unter der des Stollens lag, ausgehoben und von diesem bis zur Ableitung des Wassers ein *68*^{m} langer Stollen *GH* getrieben. Bis zur Vollendung desselben musste das Wasser aus dem Schachte *G* ausgepumpt werden. Die in den unteren Einschnitt gerutschten Massen wurden nun auch bis auf *11*^{m} links von der Axe entfernt, so dass die fünf Schächte *I* abgeteuft und der *184*^{m} lange Hauptentwässerungsstollen *KK*, dessen Sohle *6,3*^{m} unter dem unteren Planum liegt, getrieben werden konnte. Von den Schächten *I* wurden Querschläge *IM* getrieben, welche unter sich wieder durch Stollen *N* verbunden wurden; vom

Ende des Stollens *KK* wurde zur Abführung des Wassers der *117*^{m} lange Querstollen *IL* getrieben. Die Sohlen dieser Stollen liegen im festen Gebirge. Da sich auch neben der eigentlichen Rutschung starke Wasseraussickerungen zeigten, so dass ein Weitergreifen der Rutschung zu befürchten war, so wurde von dem Querschlage *M*

Fig. 172. a.



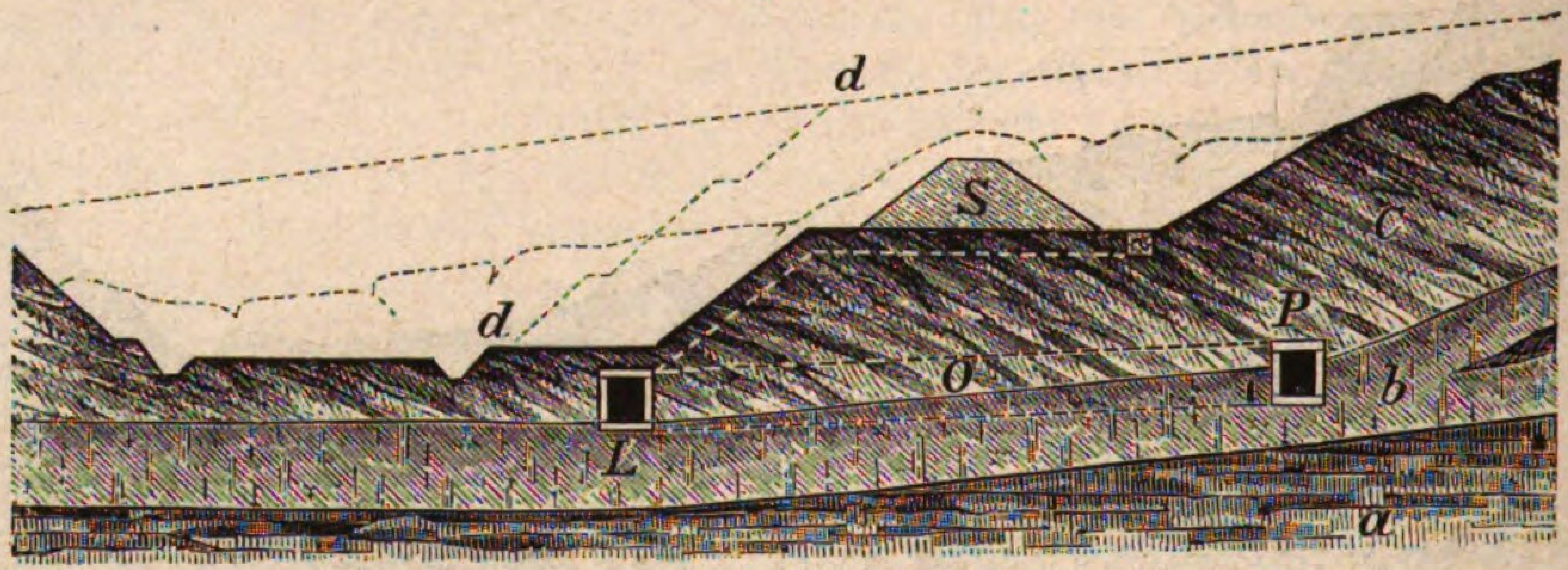
Doppeleinschnitt der Bebra-Hanauer-Bahn am Nirgelsberge. — $^1/_{600}$ u. $^1/_{2000}$ n. Gr.

aus noch der Stollen *OO* getrieben. Um endlich die starke Quelle bei *D* unschädlich zu machen, überhaupt möglichst alles von der Bergseite zuströmende Wasser schon oberhalb des oberen Einschnittes abzufangen, wurde links vom oberen Bahnplanum der Schacht *P* abgeteuft und von diesem aus die Stollen *PR* und *PS* getrieben. Um nun für die obere Planie den Bahnkörper mit $1\frac{1}{2}$*facher* Böschung *bb* anschütten zu können, wurde die Trockenmauer *a* angelegt; dieselbe ist in Abständen von *24*^{m} auf der Rückseite durch Pfeiler verstärkt. Vorher wurde das Terrain über dem Stollen *KK* bis zur Sohle der Mauer aufgeschlitzt und der so entstandene Graben mit Steinen ausgepackt.

Einschnitt der Bebra-Hanauer-Bahn am Ziegenberge (Fig. 173). Der *6 bis 10*^{m} tiefe Einschnitt liegt in einem Terrain von sehr veränderlicher Beschaffen-

heit, wobei lehmige Basalterde (*c*), Thon (*b*), Braunkohlenlager und Sandschichten wechseln. In Folge anhaltenden Regens traten in den leicht aufweichenden Schichten starke Abrutschungen ein, welche die Gleise, Wagen etc. wiederholt verschütteten. Da in den gänzlich durchweichten Massen regelmässige Abflüsse nicht herzustellen waren, so wurden die Arbeiten auf mehrere Monate eingestellt. Nach eingetretener besserer Witterung wurden die abgerutschten Massen beseitigt und Entwässerungs-

Fig. 173.



Einschnitt der Bebra-Hanauer-Bahn am Ziegenberge. — $^1/_{500}$ n. Gr.

gräben angelegt. Es gelang auch zum grösseren Theile, das Planum freizulegen. Auf der Strecke, in welcher verwitterte Vegetabilienschichten angeschnitten wurden, hatten die umhüllenden Thonmassen das Wasser zurückgehalten, was sehr starke Einstürze zur Folge hatte. Auch im übrigen Theile wiederholten sich jetzt die Abrutschungen und nahmen eine bedeutende Ausdehnung ein, so dass man bald wieder vor einem Gewirre von Rutschmassen stand. Man entschloss sich nun zu umfassenden bergmännischen Entwässerungen. Zur Entlastung auf der Bergseite wurde in der mittleren Höhe der Böschung ein *14*^{m} breites Bankett angelegt (Fig. 173). Vor Vollendung der Entlastungsarbeiten begann man bei sich immer besser gestaltendem Wetter mit dem Beseitigen der abgerutschten Massen. In der Strecke, von welcher Fig. 173 das Querprofil zeigt, wurde der Stollen *P* getrieben und von diesem *4* Querschläge *O* angelegt, welche durch einen Stollen *L* verbunden wurden. Ein *2,5*^{m} hoher Schutzdamm *S* wurde noch angelegt, um das etwaige Abrutschen der oberen Massen für den Einschnitt unschädlich zu machen.

Einschnitt der Bötzbergbahn bei Geissl. Beim Ausheben des Einschnittes im Lehme zeigten sich auf der bergseitigen Wand Rutschungen, die immer merklicher wurden. Beim Erreichen der Schwellenhöhe bewegte sich eine Erdmasse von *150*^{m} Länge, *75*^{m} Breite, *21*^{m} Höhe; aus einzelnen Stellen des in Auflösung begriffenen Erdkörpers quoll Wasser. Es zeigte sich, dass eine nur *9*^{mm} dicke, wasserhaltende Schicht mit 15 Procent Neigung den Berg durchsetzte, welche in Schwellenhöhe ausstrich. Normal zur Bahn wurde in der Höhe der Rutschfläche ein *75*^{m} langer Stollen getrieben, an den Enden desselben nach beiden Seiten hin Zweigstollen angelegt, und ausserdem wurden noch einzelne Querschläge und Aufbrüche angeordnet. Ausserdem wurden Strebepfeiler, verbunden durch Bögen hergestellt, welche sich gegen die, in geringer Tiefe unter der wasserführenden Schicht liegende Molassestufe stemmten. Diese Anordnungen bewährten sich vollkommen.

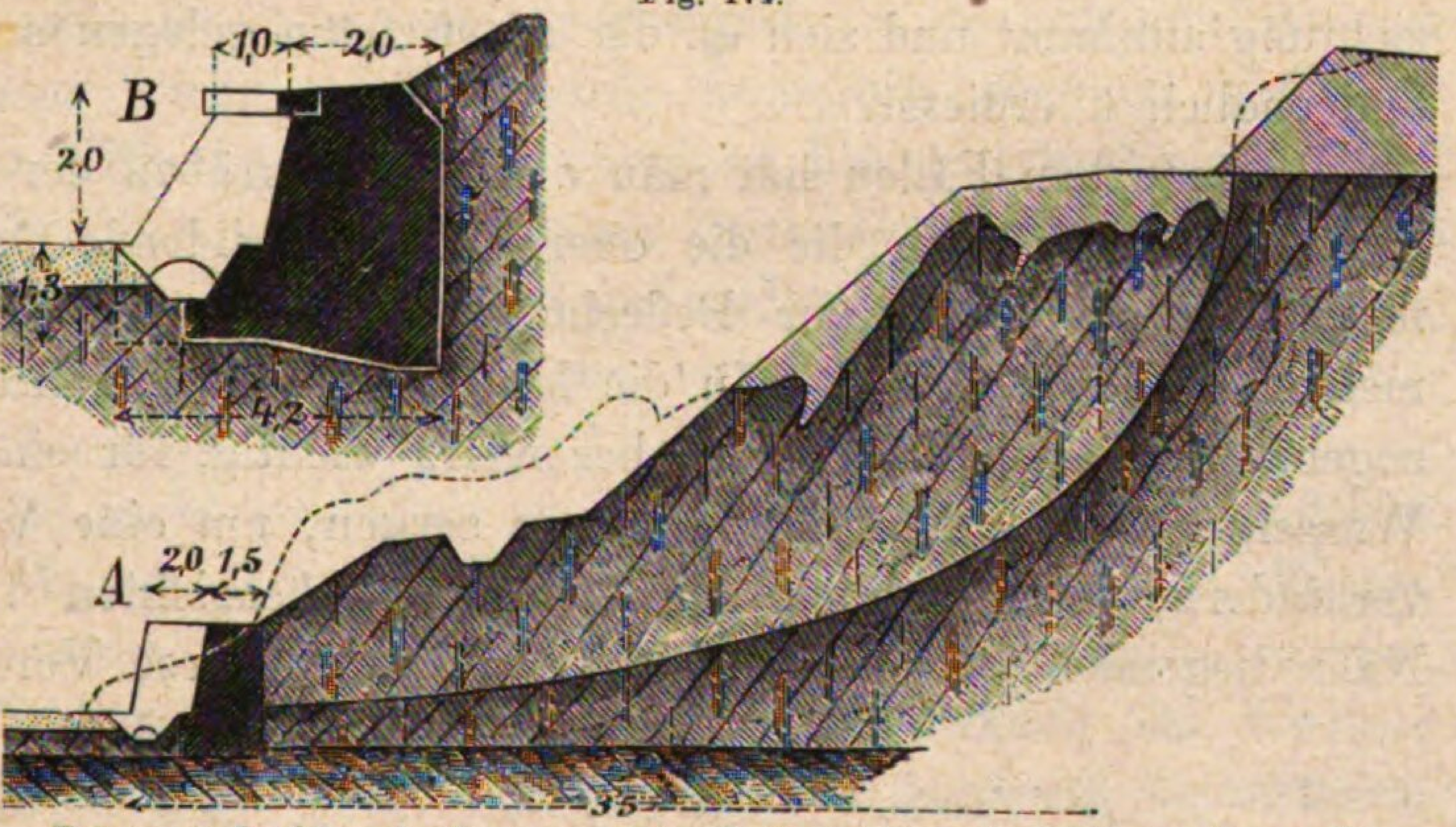
Einschnitt der ungarischen Ostbahn bei Kolom. *31,5* im Lehme (Taf. V, Fig. 2). Derselbe war durch Vortreiben eines tiefen Schlitzes in Angriff genommen, wodurch eine bedeutende Rutschung hervorgerufen wurde. Als derselbe etwa die Ausdehnung *ABC* angenommen hatte, wurde dieser Arbeitsvorgang eingestellt, indem jetzt nur von oben herab nach der künftigen Böschung gearbeitet wurde. Inzwischen

wurde die Bodenuntersuchung vorgenommen, der Schichtenplan des blauen Tegels konstruirt und das auf Taf. V, Fig. 2 dargestellte Entwässerungsprojekt entworfen. Dasselbe bestand in der Anlage eines Schlitzes *b d f h l n o*, welcher bis in den Tegel reichte; derselbe mündete bei *a* in einen aufgelassenen Einschnittsbeginn. Der Querschlitz *h q* sollte zur Ableitung des in der Strecke *g l* aufgefangenen Wassers, der Querschlitz *d p* dagegen sollte das viele in der von ihm geschnittenen Rutschung zu Tage tretende Wasser möglichst rasch abführen. Der letztere musste indess der grossen Beweglichkeit des Terrains wegen wieder aufgelassen werden. Der Tegel war oft vertikal gespalten und musste deshalb der Schlitz oft bis zu 2^m Tiefe, so weit die Spalten wiesen, in den Tegel eingelassen werden. Das Terrain oberhalb des Einschnittes wurde sorgfältig planirt und durch Grabenanlagen etc. entwässert. Da ein Austrocknen des Einschnittes bis zu dessen Weiterbetrieb nicht abgewartet werden konnte, so musste am Ende des Einschnittes, wo die Rutschfläche nahe der Planie geschnitten wurde, eine Trockenmauer von $1,5^m$ Dicke bis 1^m über die Rutschfläche als Gegenbankett eingesetzt werden. Der Erfolg war ein vollständiger.

Anschnitt der ungarischen Ostbahn im Bahnhofe Erked. Derselbe war am Einschnittsrande ungefähr 4^m tief. Der Boden zeigte bis zu $1,5^m$ Dammerde, von $1,5^m$ bis 3^m wasserhaltigen Lehm, sodann blauen Tegel. Wegen der geringen Dicke des Lehmkörpers wurde von jeder Entwässerungsanlage abgesehen. Allein die anfänglich $1\frac{1}{2}$ *fach* angelegte Böschung musste bald *2 fach* und endlich sogar *3 fach* gemacht werden, ohne dass das Erweichen und Herabrinnen verhindert werden konnte. Es wurden nun dachförmige Schlitze von $0,6^m$ Breite (Fig. 153, S. 191) in der ganzen rutschenden Böschung angeordnet; dieselben wurden $1,5—2,5^m$ und zwar stets bis auf die nächst untere undurchlässige oder doch nicht mehr erweichte Schicht eingetrieben. Unter der Einschnittsgrabensohle wurden sie durch einen Längsschlitz, welcher viel Wasser abführte, verbunden.

Einschnitt der Bahn von Paris nach Cherburg bei Breval. Der Boden, in welchen dieser Einschnitt von 900^m Länge, $18,5^m$ Maximaltiefe eröffnet wurde, bestand aus Thon und feinen thonigen Sanden; unter der Einschnittssohle fanden sich tertiäre Mergel und Kalke. Es entstanden je eine Abrutschung in den Jahren 1858 und 1861 und 2 Abrutschungen im Jahre 1867. Zur Verhütung des Weiterrutschens ordnete man am Fusse eine Mauer mit hydraulischem Mörtel von *2,0 bis* $3,9^m$ Höhe, *1,8 bis* $2,3^m$ mittlerer Dicke an. Anfangs war nur der vordere Theil mit Mörtel, der hintere als Trockenmauerwerk aufgeführt. Da sich anfänglich die Mauern zu schwach erwiesen, so verstärkte man sie durch Strebepfeiler von $1,5^m$ Breite und 9^m Abstand. Als theilweise abermalige Verdrückungen entstanden,

Fig. 174.



Bahn von Paris nach Cherburg. Einschnitt bei Breval. — 1/200 u. 1/500 n. Gr.

schaltete man zwischen je 2 Strebepfeilern noch einen solchen ein. Später gab man den Mauern schon anfänglich Strebepfeiler. In Fig. 174 zeigt *A* das Profil von 1861, *B* das von 1867. Im Jahre 1868 ordnete man auf der *240*^{m} langen, noch unversehrt gebliebenen Strecke Futtermauern, aber ohne Strebepfeiler, an. Seither zeigte sich keine weitere Bewegung. Zur Entwässerung wurden auf der Böschung Abzugsgräben angeordnet und die Mauer mit zahlreichen Abzugslöchern versehen.

§. 141. Material-Gräben. Die Seitenentnahmen oder Materialgräben (franz. *l'imprunt*, engl. *the side cutting*) sind, wenn sie fortlaufend angeordnet werden, hinsichtlich der Breite und Tiefe nach §. 92 zu projektiren. Ingenieur Bormann gab bereits im Jahre 1836 die Regel, die Tiefe sei $= \sqrt{\frac{1}{6} F}$ zu wählen, wenn *F* die Einschnittsfläche des aus dem Materialgraben zu schüttenden Theiles des Dammes bezeichnet; in speciellen Fällen kann diese Tiefe mit der nach §. 92 zu bestimmenden Tiefe allerdings übereinstimmen.

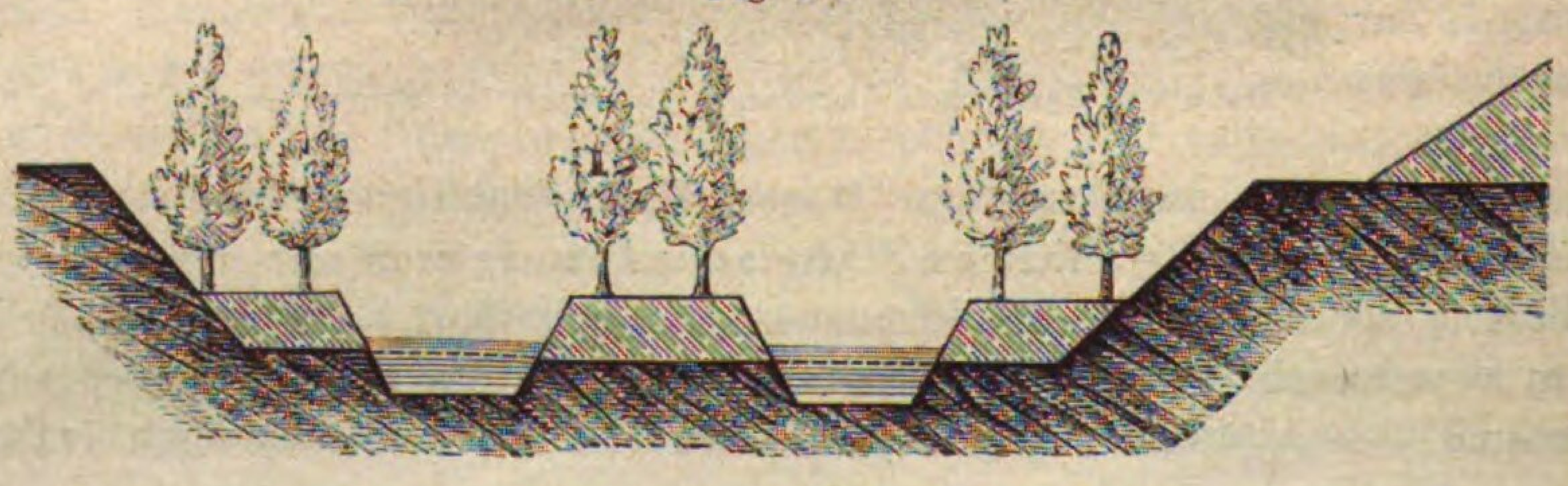
Wenn Rutschungen im natürlichen Terrain zu befürchten sind, so ist einestheils auf einen genügenden Abstand des Materialgrabens vom Damme Rücksicht zu nehmen, anderntheils können Entwässerungen des natürlichen Terrains räthlich erscheinen, wenn man nicht etwa in diesem Falle vorzieht, für die Gewinnung des Bodens geeignetere Stellen aufzusuchen.

Die Böschungen lassen sich meist etwas steiler halten, als die eigentlichen Einschnittsböschungen; meist wird man eine *1-fache* Böschung annehmen können.

Wenn das Terrain in Richtung der Bahn geneigt ist, so lässt man häufig einzelne Erdzungen stehen, um zu vermeiden, dass das Wasser, welches sich im Materialgraben sammelt, eine Strömung in der Längsrichtung annimmt und sich an der am tiefsten gelegenen Stelle sammelt und endlich überfliesst.

In manchen Fällen hat man die Materialgräben der Kultur wieder gegeben, indem man die die obere Schicht bildende Ackererde deponirte, um sie später zur Bedeckung anwenden zu können. In den meisten Fällen aber hat man die Materialgräben der Kultur ganz entzogen. In diesem Falle ist es besonders wichtig, für einen Abfluss des Wassers aus dem Materialgraben zu sorgen, um eine Versumpfung zu verhindern, hauptsächlich aus Gesundheitsrücksichten für die in der Nähe liegenden Ortschaften. Mehrfach wurde diese Vorsicht versäumt,

Fig. 175.



und hierdurch zu berechtigten Klagen Anlass gegeben. In Frankreich hat man zuweilen auf der Sohle des Materialgrabens Längssgräben von etwa 1^m Breite ausgehoben und den hierdurch gewonnenen Boden zur Erhöhung der Sohle angewendet (Fig. 175). Hierdurch erreicht man, dass 1. der grösste Theil der Sohle trocken erhalten bleibt, 2. das Wasser leichter abzuführen ist, da durch die Gräben die Wasserhöhe vergrössert wird und 3. dass durch die Erhöhung der Sohle die Möglichkeit zur Anpflanzung geeigneter Bäume, wie Weide, Erle etc. gegeben wird, die einestheils einen Ertrag gewähren können, anderntheils durch die Aufsaugung des Wassers etc. die Luft reiner erhalten.

XII. Kapitel.

Konstruktion der Dämme.

§. 142. Erddämme. Jedes Material ist, wenn es trocken ist und vor Erweichung sicher gestellt wird, zu Dämmen geeignet.

1. Sand, Kies und Gerölle ist das günstigste Material zu Aufträgen, da dasselbe das Wasser durchlässt, nicht erweicht und sich sehr wenig setzt, falls das Gerölle nicht mit zu viel thoniger Erde gemengt ist. Abrutschungen sind hier nicht zu befürchten. Nur der sehr feine, sogen. Flugsand wird durch das Wasser leicht fortgeschwemmt und durch Wind fortgetrieben, so dass eine Bedeckung mit Muttererde nebst einer Besamung oder eine Bedeckung mit Thon oder Lehm unerlässlich ist.

2. Dammerde ist zwar weniger geeignet, da sie sich stärker setzt und vom Wasser etwas erweicht wird; immerhin aber ist sie noch ganz brauchbar. Ein künstliches Dichten ist hier zweckmässig.

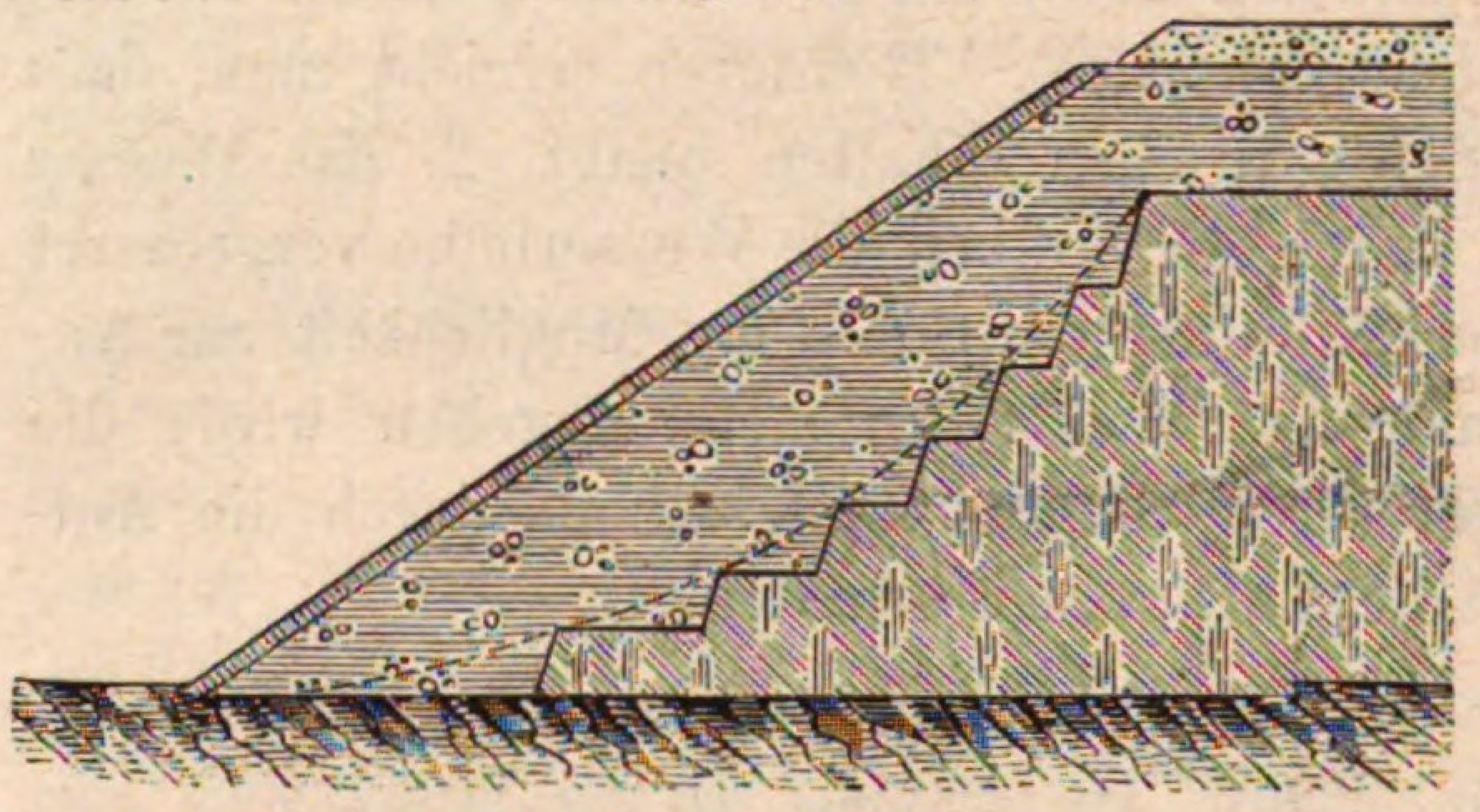
3. Torf lässt sich nur in trockenem Zustande verwenden. Er muss etwa in einer Dicke von $0{,}3$ *bis* $0{,}5^m$ mit anderer Erde bedeckt werden, um ein Feuerfangen zu verhüten; indess wird es nur sehr selten nothwendig, Torf anwenden zu müssen.

4. Lehm ist nicht besonders zu Aufträgen geeignet, weil er leicht erweicht, das Wasser lange zurückhält und sich stark setzt. Wegen Mangels an besserer Erde muss er aber doch oft verwendet werden. Dann aber ist es gerathen, die unmittelbare Einwirkung des Wassers durch eine Bedeckung und andere Maassregeln zu hindern. Unmittelbar unter der Planie wendet man lieber eine durchlässige Erde an.

5. Thon ist zu Dämmen etwas tauglicher, als Lehm, weil er nicht so leicht erweicht. Er schüttet sich aber sehr sperrig, d. h. es bilden sich grosse hohle Räume, so dass das Setzen viele Jahre hindurch anhält; auch können diese Hohlräume viel Wasser aufnehmen, welches den

Thon schlüpfrig macht und so zu Abrutschungen Anlass gibt. Wenn möglich, so schüttet man abwechselnd Lagen von Thon und lockerem Material, wie Sand, Kies, wodurch sich die Hohlräume füllen; auch beim Lehme kann dies zweckmässig sein; das starke Setzen wird hierdurch gemässigt, nicht aber die Geneigtheit zu Abrutschungen.

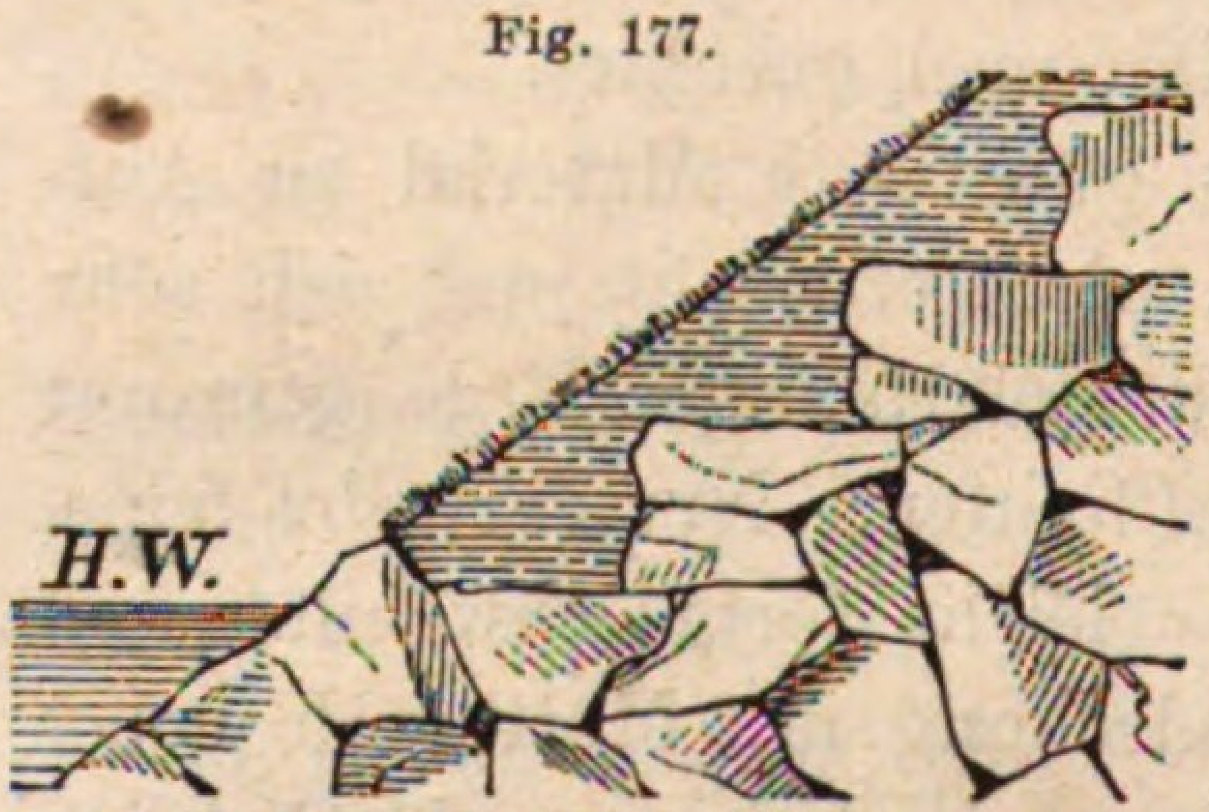
Fig. 176.



Auch bildet man bei Thon- und Lehmdämmen, um ein Abrutschen zu verhüten, die Böschung oft aus besserem Materiale, wozu es aber nöthig ist, den Kern abzutreppen (Fig. 176).

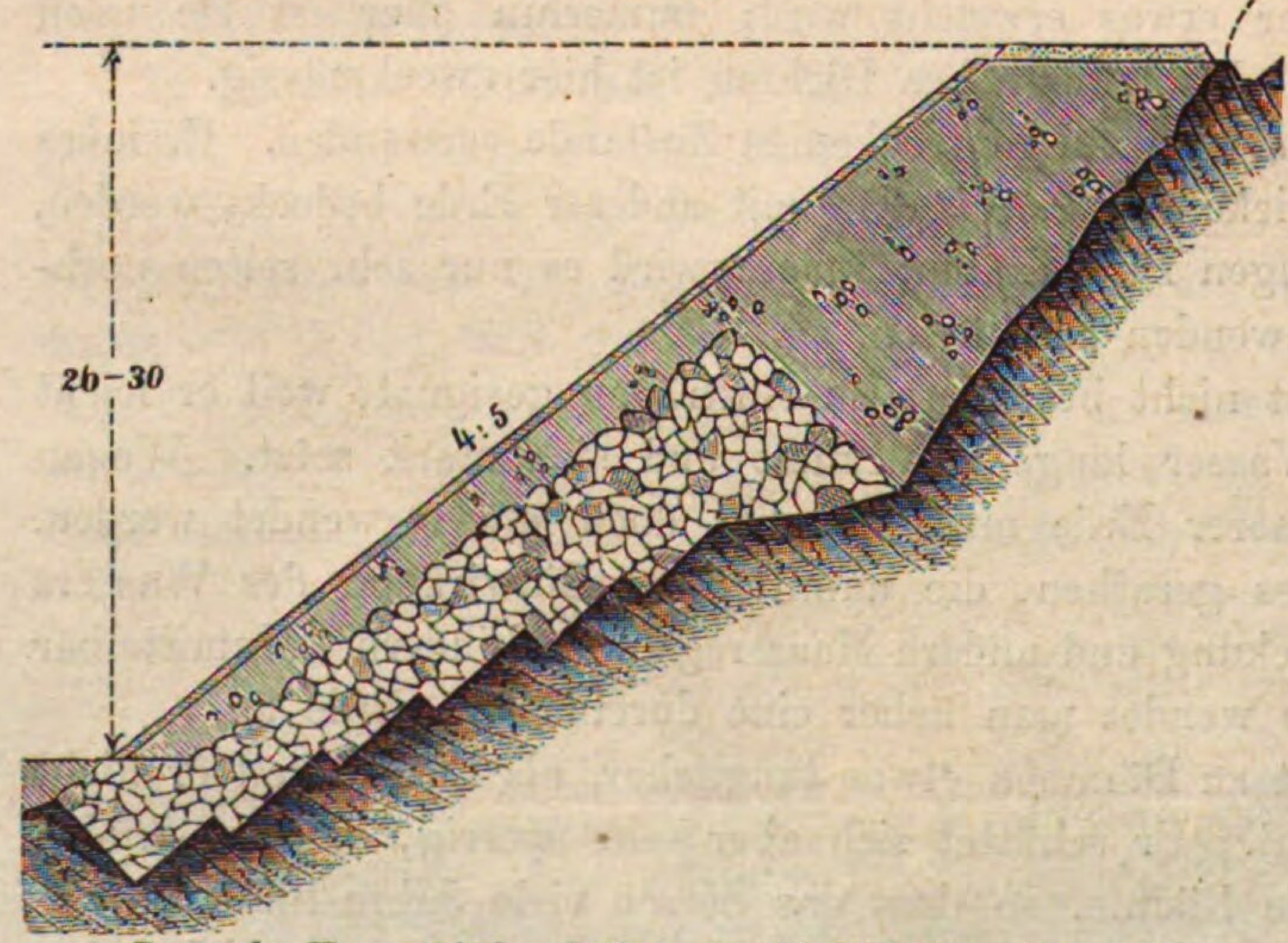
§. 143. Anschüttungen aus mildem Gesteine. Die Dämme aus mildem Gesteine halten sich zwar Anfangs mit steiler Böschung gut; jedoch flachen sich die Böschungen durch das Verwittern allmählig ab, und das Setzen hält oft lange Zeit an, indem sich die Hohlräume durch das Verwittern allmählig anfüllen. Auch hier kann es zweckmässig werden, die Hohlräume mit feinerem Materiale zu füllen. Das Verflachen der Böschung kann durch eine Rasendecke verhindert werden. Wenn das Gestein durch Verwitterung in eine fruchtbare Erde übergeht, was z. B. beim Thonschiefer und Mergel der Fall ist, so wird man die Böschungen genügend flach anlegen und später besäen.

Fig. 177.



Kronprinz-Rudolf-Bahn. — $^1/_{100}$ n. Gr.

Fig. 178.



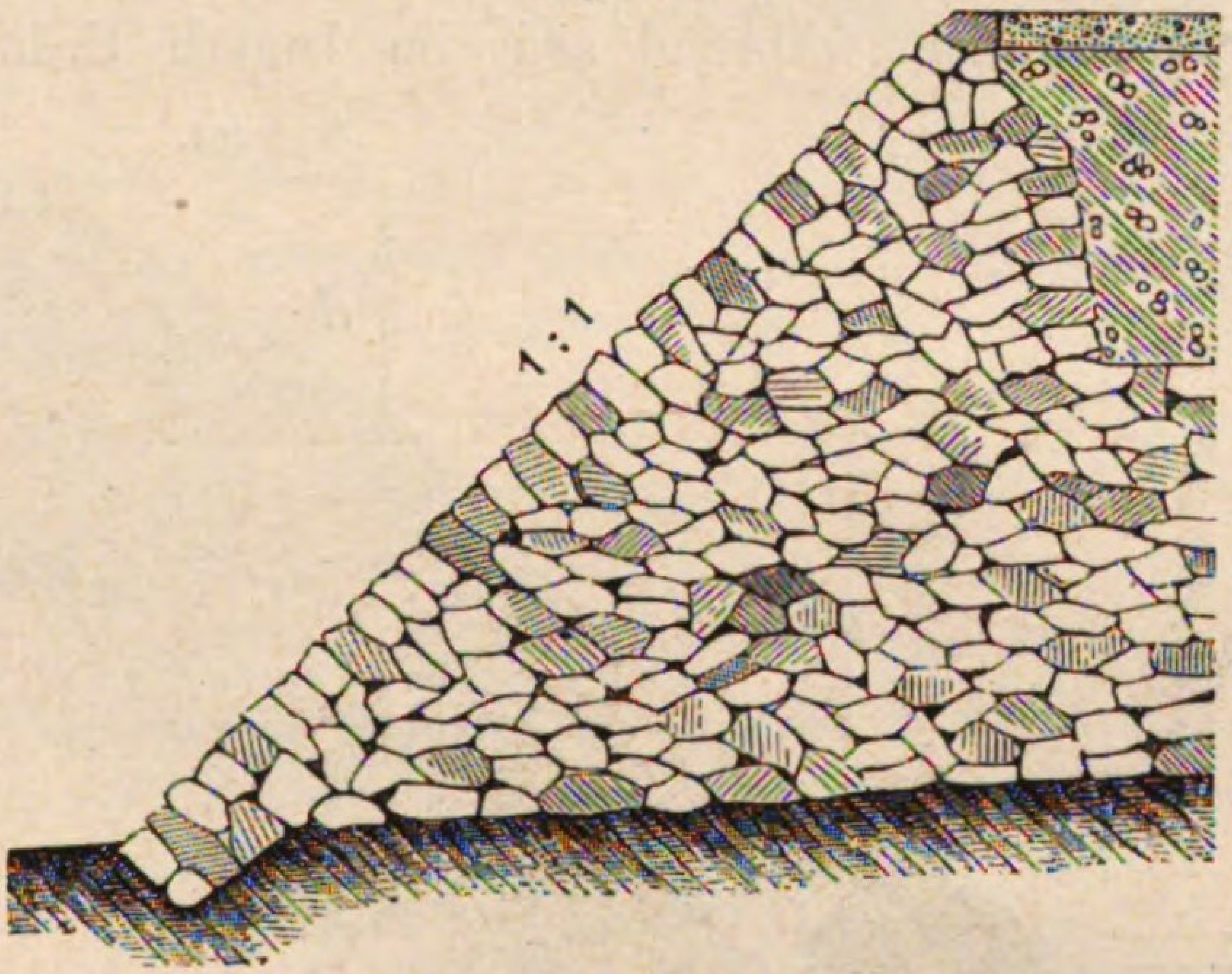
Damm der Hannover'schen Südbahn im Scheldethale. — $^1/_{500}$ n. Gr.

Um das Steinmaterial mehr vor dem Verwittern zu

schützen, auch wohl, weil sich eine Erdböschung leichter reguliren lässt, hat man die Steinschüttung oft mit einer dünnen Schicht Muttererde beschüttet; man hat hierzu wohl den Steinkern abgetreppt (Fig. 177); jedoch ist dies nicht unbedingt nöthig (Fig. 178), da die Steinschüttung ohnehin eine genügend rauhe Oberfläche annimmt, um ein Abrutschen der Erde zu verhüten.

§. 144. Steindämme aus festem Gesteine. Festes Gestein bildet ein ganz vorzügliches Material zu Dämmen, da es sehr steile Böschungen zulässt und sich äusserst wenig setzt. Wegen der hohen Kosten verwendet man es indess zu Dämmen nur aus folgenden Veranlassungen:

Fig. 179.



1. Wenn festes Gestein in Einschnitten in so grosser Menge gewonnen wird, dass Ueberfluss an solchem vorhanden ist, während vielleicht weniger Erdmaterial zur Verfügung steht.

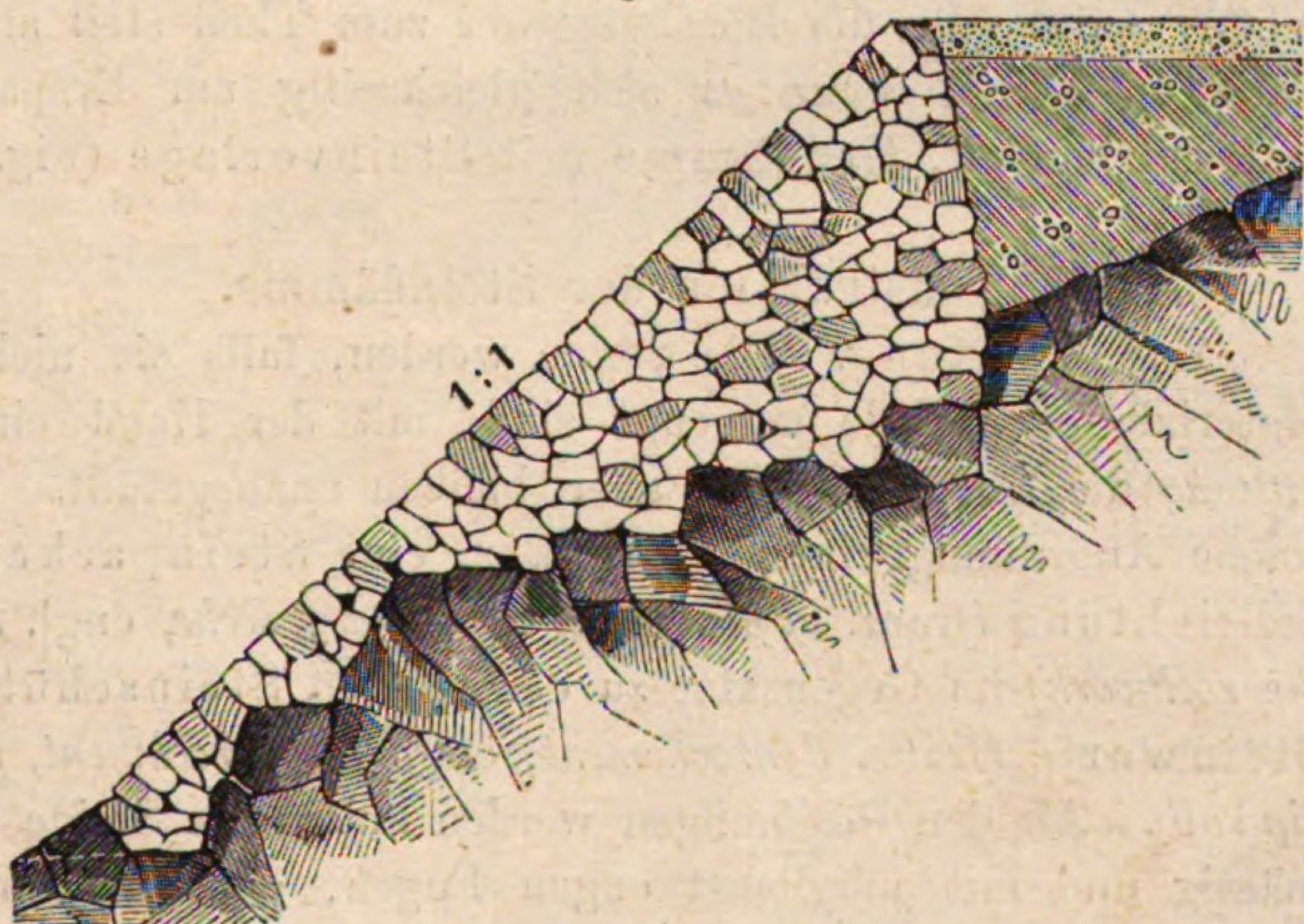
2. Wenn es darauf ankommt, möglichst steile Böschungen zu erhalten. Solche aber können hauptsächlich nöthig werden:

a) an steilen Berglehnen, indem hier flache Böschungen ausserordentlich breit ausfallen können;

b) in der unmittelbaren Nähe von Gewässern, wo ein Damm mit flachen Böschungen eine zu grosse Einengung des Gewässers veranlassen würde;

c) in der unmittelbaren Nähe von an-

Fig. 180.



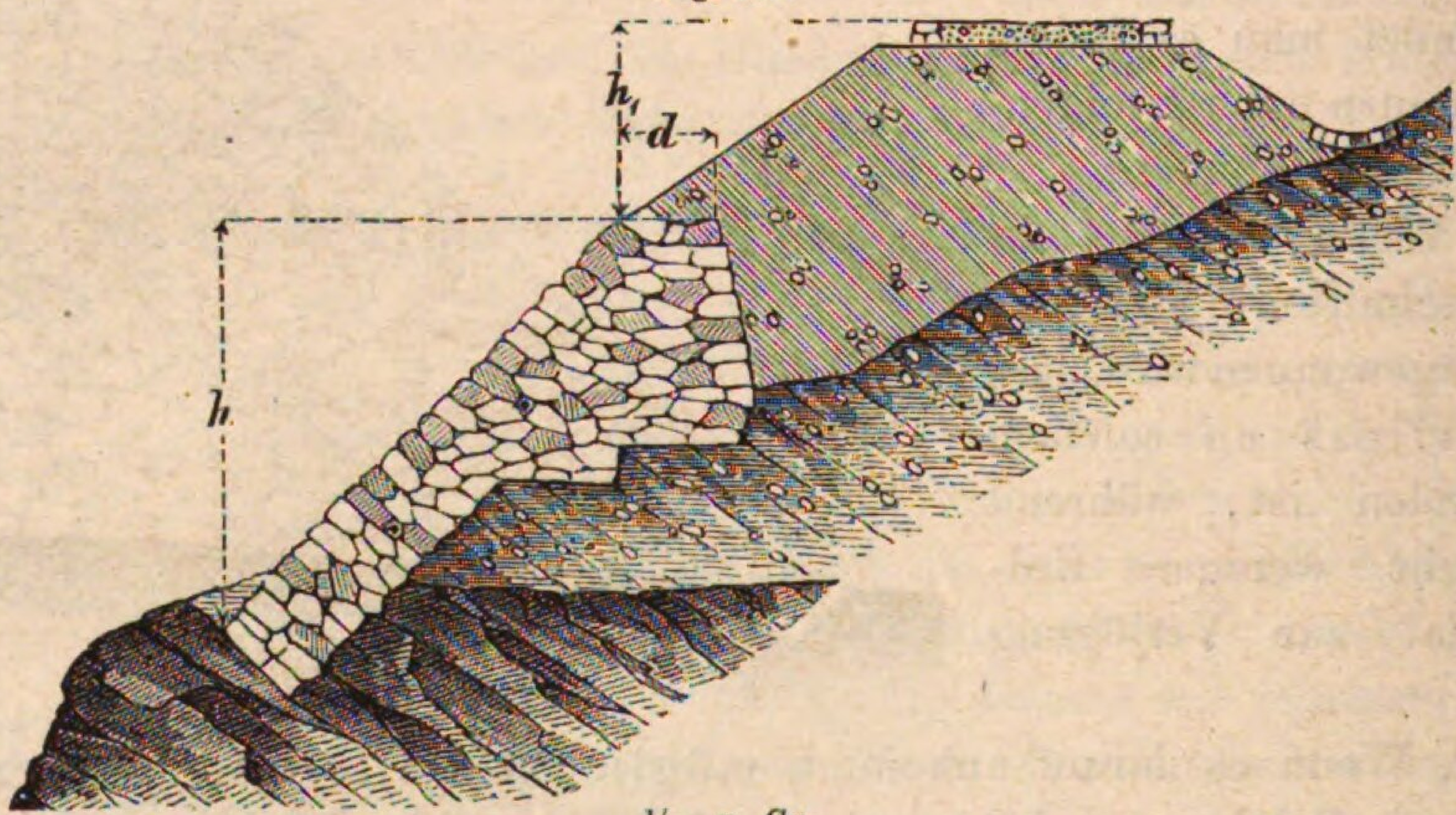
Orleans-Bahn. — $^1/_{250}$ nat. Gr.

deren Objekten, welche sich nicht leicht verlegen lassen, wie Strassen, Häusern u. s. w.

d) bei sehr theuerem Grund und Boden.

Sind Steine in Ueberfluss vorhanden, so schüttet man den ganzen Damm aus Steinen (ganzer Steindamm, Fig. 179). Unter der Bettung schüttet man wohl auch ein Prisma von Erde, um das harte Fahren zu vermeiden und etwa vorhandene Erde zu verwenden. Muss man mit dem Material sparsamer umgehen, so bildet man nur diejenige Seite aus Steinen, bei welcher eine grössere Steilheit erwünscht ist (halber Steindamm, Fig. 180), oder man begrenzt den Damm seitlich durch Steindämme, während sich im Innern Erdmaterial befindet (Koffer-

Fig. 181.



$^1/_{250}$ n. Gr.

damm, Fig. 189), oder man schüttet nur einen Steinkern, welcher aussen durch Erde bedeckt wird (Fig. 178). Zuweilen genügt es auch schon, wenn man die Böschung nur zum Theil steil anlegt; in diesem Falle entstehen, wenn es sich gleichzeitig um Ersparniss an Steinmaterial handelt, Erddämme mit Steinvorlage (Fig. 181).

§. 145. Konstruktion der Steindämme.

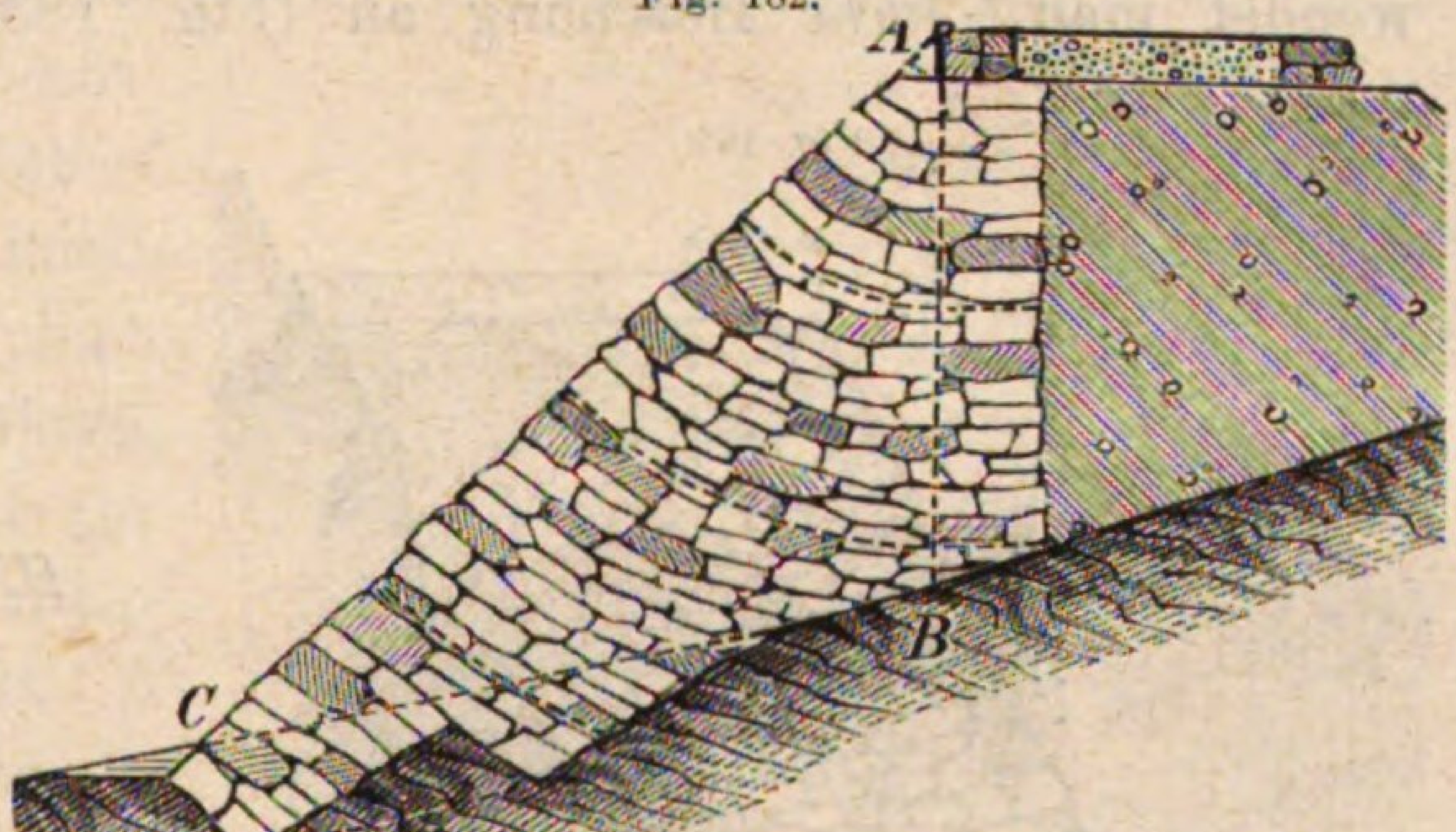
1. Schichtung. Die Steine werden, falls sie nicht mit feinerem Materiale oder Erde gemengt sind, mit der Hand einigermassen geordnet; die Zwischenräume aber bleiben unausgefüllt. Man nennt eine solche Anordnung einen Steinsatz, eine Steinpackung oder Stein-Schlichtung (franz. *la pierrée, le maçonnery sèche,* engl. *the stone-packing, the rockwork*) im Gegensatze zu der blossen Steinschüttung oder dem Steinwurfe (franz. *l'enrochement,* engl. *the enrockment, the rockwork, the rip-rap*). An den Böschungen werden indess die Steine möglichst regelmässig und mit möglichst engen Fugen, gepackt, um die Böschung möglichst steil halten zu können und eine glatte Oberfläche zu erhalten.

Es ist aber nöthig, dass diese äussere Decke in einigem Verbande mit dem Innern ausgeführt wird, da sonst beim Setzen ein Lösen und Aufblähen dieser Decke eintritt. Trotzdem aber wartet man mit der Regulirung der Böschung gern, bis sich der Damm zum grössten Theile gesetzt hat. Die grössten Steine verwendet man an der Böschung, die kleinsten in der Mitte des Dammes. Man kann auch den innern Theil aus Gerölle bilden, wobei eine Packung natürlich entfällt.

Die Lagerfugen irgend welcher Steinkonstruktion sollen möglichst senkrecht auf dem grössten Hauptdrucke stehen; nur in diesem Falle würde, falls keine Reibung vorhanden ist, eine Verschiebung nicht eintreten. An der Oberfläche wirkt dieser Hauptdruck stets parallel zur Oberfläche; denn parallel zur Oberfläche kann in der unmittelbaren Nähe derselben keine Schubspannung wirken, weil keine äussere parallel zur Oberfläche wirkende Kraft vorhanden ist; die Hauptspannungen aber wirken eben parallel zu denjenigen Ebenen, in welchen keine Schubspannungen wirken.*) *Demnach sollen die Lagerfugen an der Böschung möglichst senkrecht auf derselben stehen.*

In der Mitte eines symmetrischen Steindammes wirkt der grösste Hauptdruck vertikal; hier wird man also eine horizontale Schichtung anwenden. Man wird also die Steinschichten, falls sich solche durch lagerhaftere Bruchsteine markiren lassen, von der Böschung aus nach dem Innern von der zur Böschurg senkrechten Lage in eine mehr horizontale Lage überführen (Fig. 182).

Fig. 182.



$^1/_{250}$ n. Gr.

Eine horizontale Lage der Lagerfugen an der Böschung, welche man auch zuweilen findet, lässt sich nicht rechtfertigen.

Die bereits in §. 143 erwähnte Beschüttung mit Erde findet man auch bei Dämmen aus beständigem Materiale. Hier liegt weniger der Grund, vor einer Verwitterung zu schützen, vor, als 1. das regelmässige Packen der Steine an der Oberfläche zu ersparen, 2. vielleicht auch, weil das vorhandene Steinmaterial nicht für einen vollständigen Steindamm ausreicht und 3. weil die grünen Rasenflächen weniger störend in die Romantik der Natur eingreifen.

*) Siehe des Verfassers „Lehre von der Elasticität und Festigkeit“ I. Theil, I. Kapitel.

2. Böschungswinkel. Die Böschung wählt man bei grösseren Höhen gewöhnlich **1 fach;** bei kleinen Höhen kann man selbst bis zu $\frac{1}{2}$*fachen* Böschungen gehen. Bei grösseren Höhen lassen sich aber auch gekrümmte Böschungen anwenden, die etwa unten *1 fache*, oben $\frac{1}{2}$*fache* Anlage haben (Fig. 189). Bei einer Bedeckung mit Erde kann man nur $1\frac{1}{4}$*fache*, bei regelmässiger Abtreppung wohl auch *1fache* Böschung anwenden.

Der Hinterfläche der halben Steindämme und Steinvorlagen gibt man $\frac{1}{5}$ bis $\frac{1}{8}$ Anlage; man wendet aber auch zuweilen ganz vertikale Flächen an (Fig. 182); Absätze (Fig. 183) hindern ein gleichmässiges Setzen des Dammes.

§. 146. Trockenmauern. Wenn man die Böschung noch steiler halten will, als es bei gewöhnlichen Steindämmen möglich ist, so muss man die Steine an der Böschung bis zu einer grösseren Tiefe regelmässig, mit möglichst engen Fugen und mit Auszwickungen packen, also eine Trockenmauer anwenden.

Man kann solchen Mauern $\frac{1}{5}$ bis $\frac{1}{3}$*fache* Böschung geben; meist wendet man $\frac{1}{2}$ *fache* Böschung an (Fig. 183 bis 185). Beispielsweise

Fig. 183.

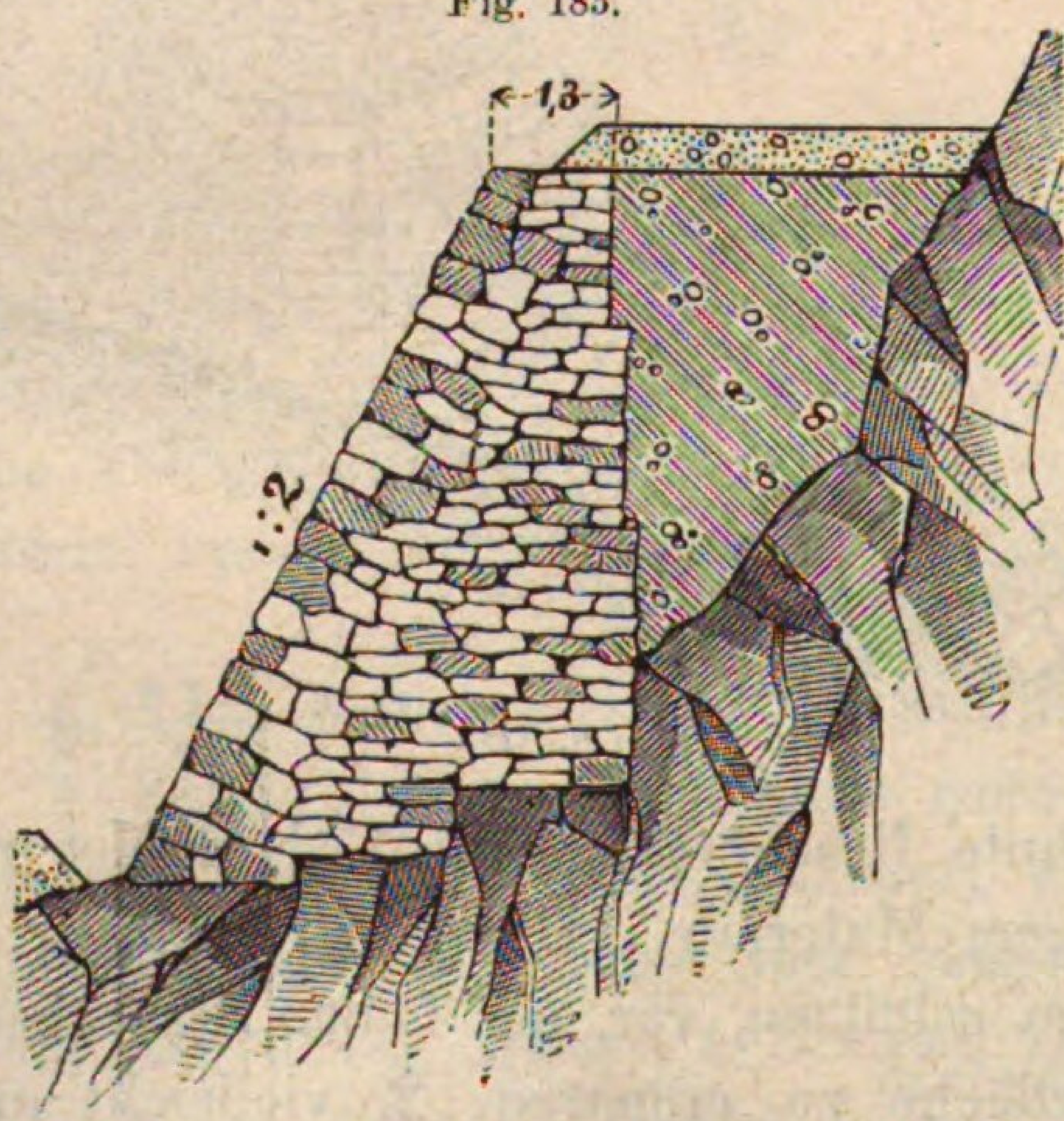


Fig. 184.

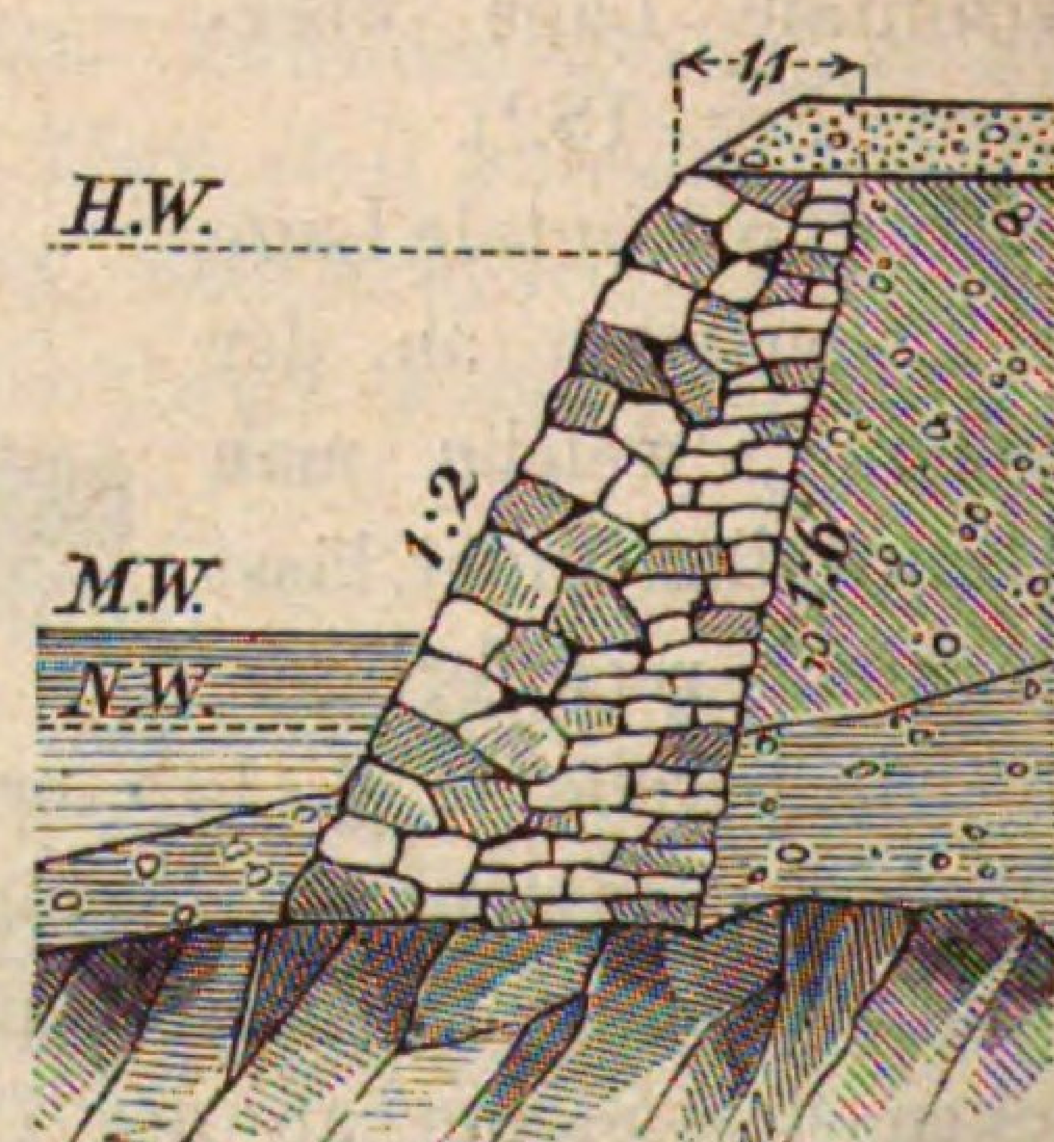


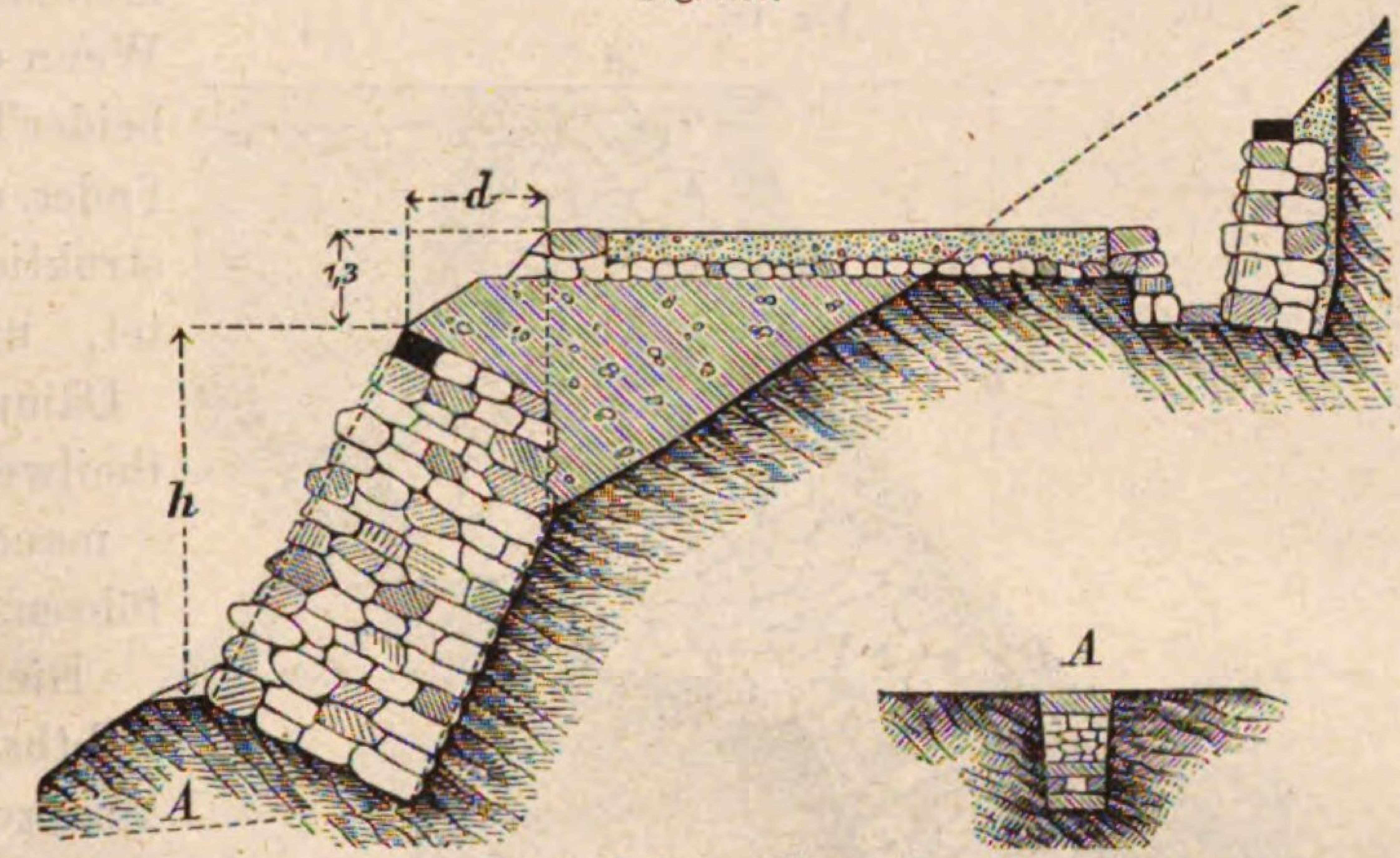
Fig. 183 und 184: Rhein-Nahe-Eisenbahn. — $^1/_{150}$ und $^1/_{180}$ n. Gr.

wendete man bei der Brennerbahn $\frac{1}{2}$ *fache* Böschung bis zu *6,3 Meter* Höhe, $\frac{2}{3}$ *fache* Böschung bis zu *9,5 Meter* Höhe an; bei noch grösserer Höhe wurde der obere Theil $\frac{2}{3}$ *fach*, der untere $\frac{4}{5}$ *fach* angelegt (Fig. 187).

Die hintere Fläche wird, soweit dieselbe hinterschüttet ist, meist

vertikal, soweit sich dieselbe an das natürliche Terrain lehnt, parallel zur Vorderfläche angenommen. Man hat aber auch zur Ersparniss an Steinmaterial die Mauer nach hinten überhängen lassen (Fig. 184). Namentlich hat dies gar keinen Anstand, wenn sich die Mauer an eine Schüttung aus Stein oder steinigem Materiale lehnt (Fig. 186 und 187), die indess nur bei Ueberfluss an Steinmaterial angewendet wird. Ein Verband zwischen beiden Theilen darf hier nicht stattfinden, damit sich jeder Theil unabhängig vom anderen setzen kann.

Fig. 185.

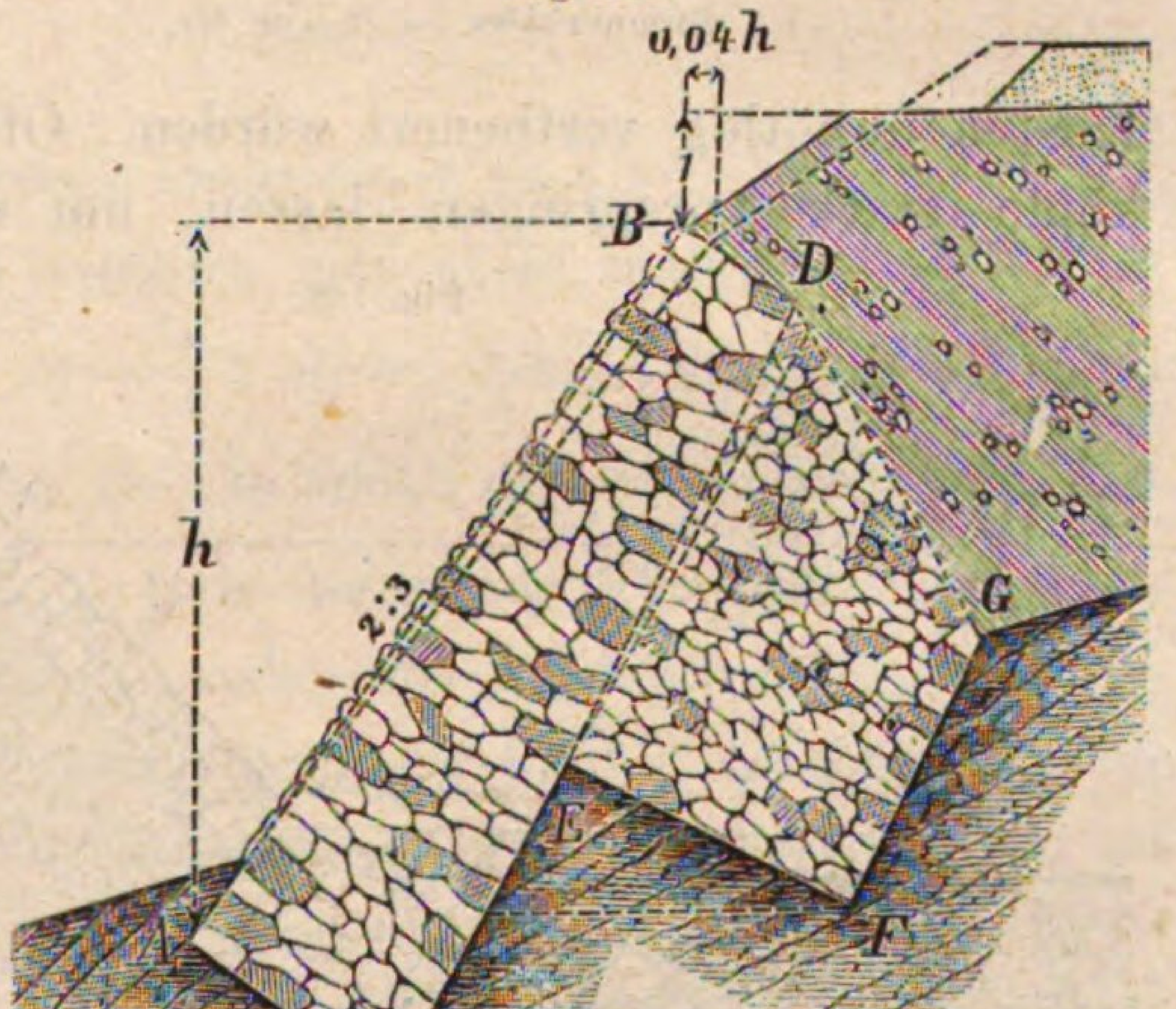


Brennerbahn. — $^1/_{250}$ n. Gr.

Wenn man mit der Ausführung des Trockenmauerwerkes wartet, bis sich der Erdkörper gehörig gesetzt hat, so kann man sogar schwache liegende Trockenmauern ausführen (Fig. 188), die den Uebergang zum Steinpflaster bilden. Hierdurch wird es möglich, auch steile Böschungen auszuführen, wenn wenig Steinmaterial zur Verfügung steht oder mit demselben gespart werden soll.

Wenn es das Terrain zulässt, so überschüttet man die Trockenmauer gern noch auf eine kleine Höhe mit Erde (Fig. 185 und 186), um hierdurch die Möglichkeit einer Hebung der Planie in Folge starker Senkungen oder einer Verschiebung der Gleise zu erhalten.

Fig. 186.

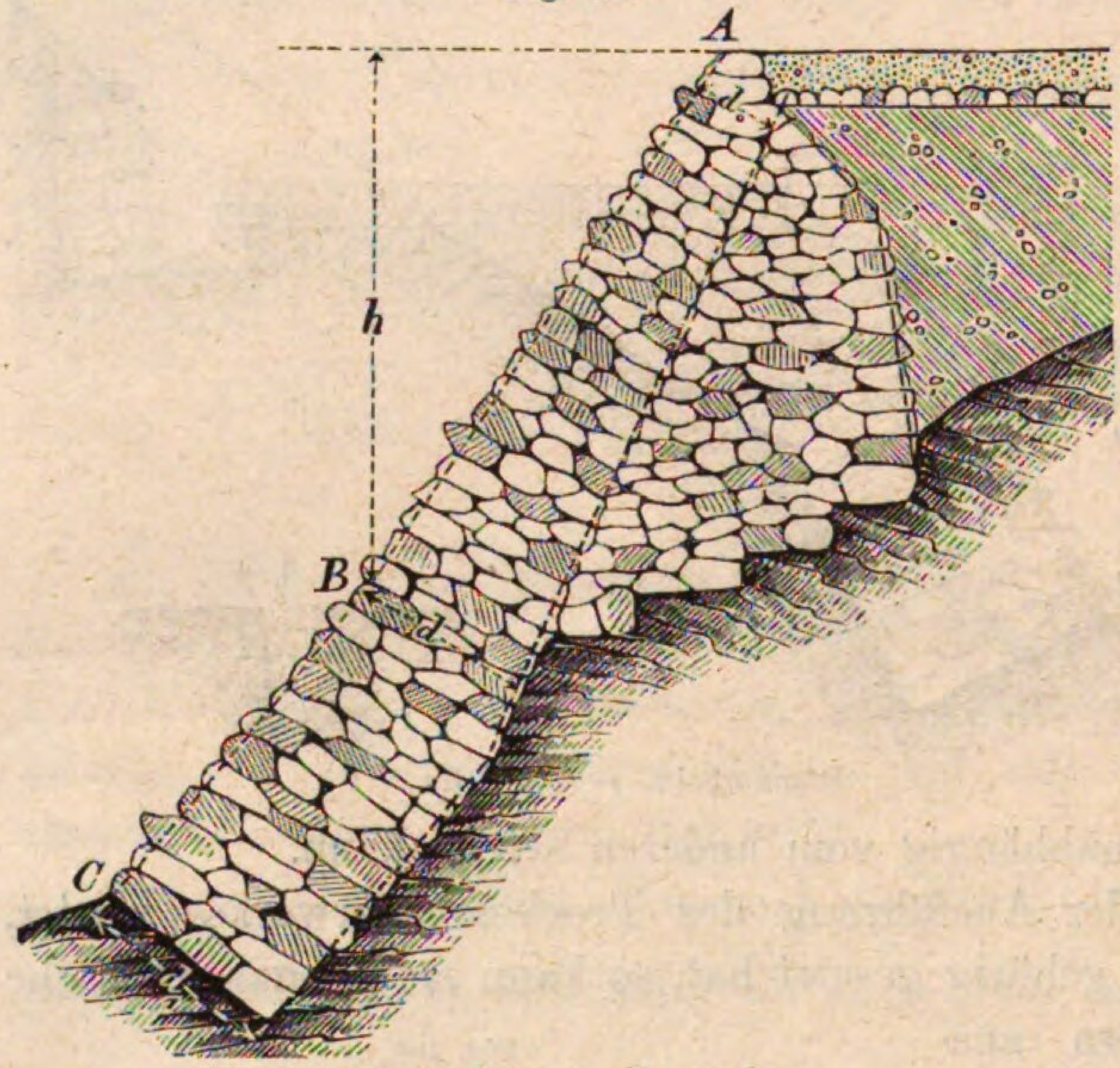


Salzburg-Tiroler Bahn. — $^1/_{150}$ n. Gr.

Hinsichtlich der Lage der Fugen gilt das im vorigen §. Gesagte. Bei geringer Dicke legt man die Schichten meist in ihrer ganzen Breite normal zur Vorderfläche (Fig 185 bis 187); bei grösserer Breite schichtet man wohl auch die hintere Parthie horizontal (Fig. 183 und 184).

Um die Böschung selbst bei sehr hohen Dämmen möglichst steil halten zu können, hat man auch die äussere Schaale in einer Dicke von *0,6* bis *1,5 Meter* in Mörtelmauerwerk ausgeführt (Fig. 189). Allein wegen der ungleichmässigen Setzung beider Theile ist hierzu im Allgemeinen nicht zu rathen. Wenn eine Verbindung beider Theile nicht stattfindet, so ist diese Konstruktion wohl ein Mittel, um selbst hohe Dämme wenigstens theilweise aus Trockenmauerwerk auszuführen.

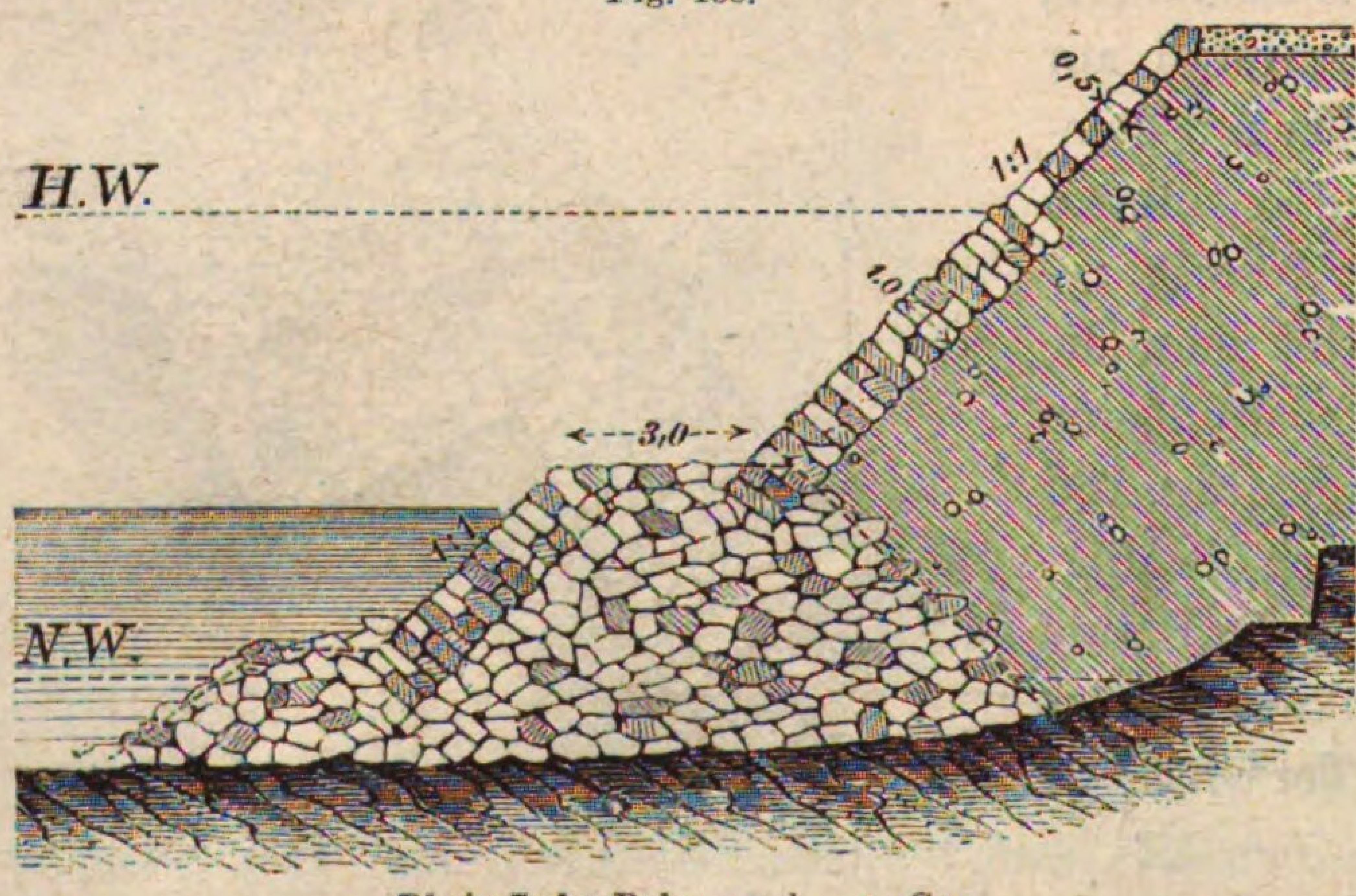
Fig. 187.



Brennerbahn. — $^1/_{250}$ n. Gr.

Die Behandlung der sichtbaren Fläche der Mauerung findet man verschieden. Selbstverständlich erscheint es unnöthig, auf eine möglichst glatte Fläche und schönen Verband zu halten, wodurch die Kosten unnöthig vertheuert würden. Oft hat man absichtlich die Steinköpfe stark vorspringen lassen, um ein möglichst wild-romantisches Aussehen zu erzielen (Fig. 185, 187 und 191). Indess können auch hierdurch die Kosten vertheuert werden, wenn man zu weit geht. Sehr schlecht sieht es aus, wenn man, um durch Klettern zu allen Punkten gelangen zu können, nur einzelne Steine in ziemlich regelmässiger Anordnung vorstreckt, wie man dies z. B. auf der Brennerbahn findet.

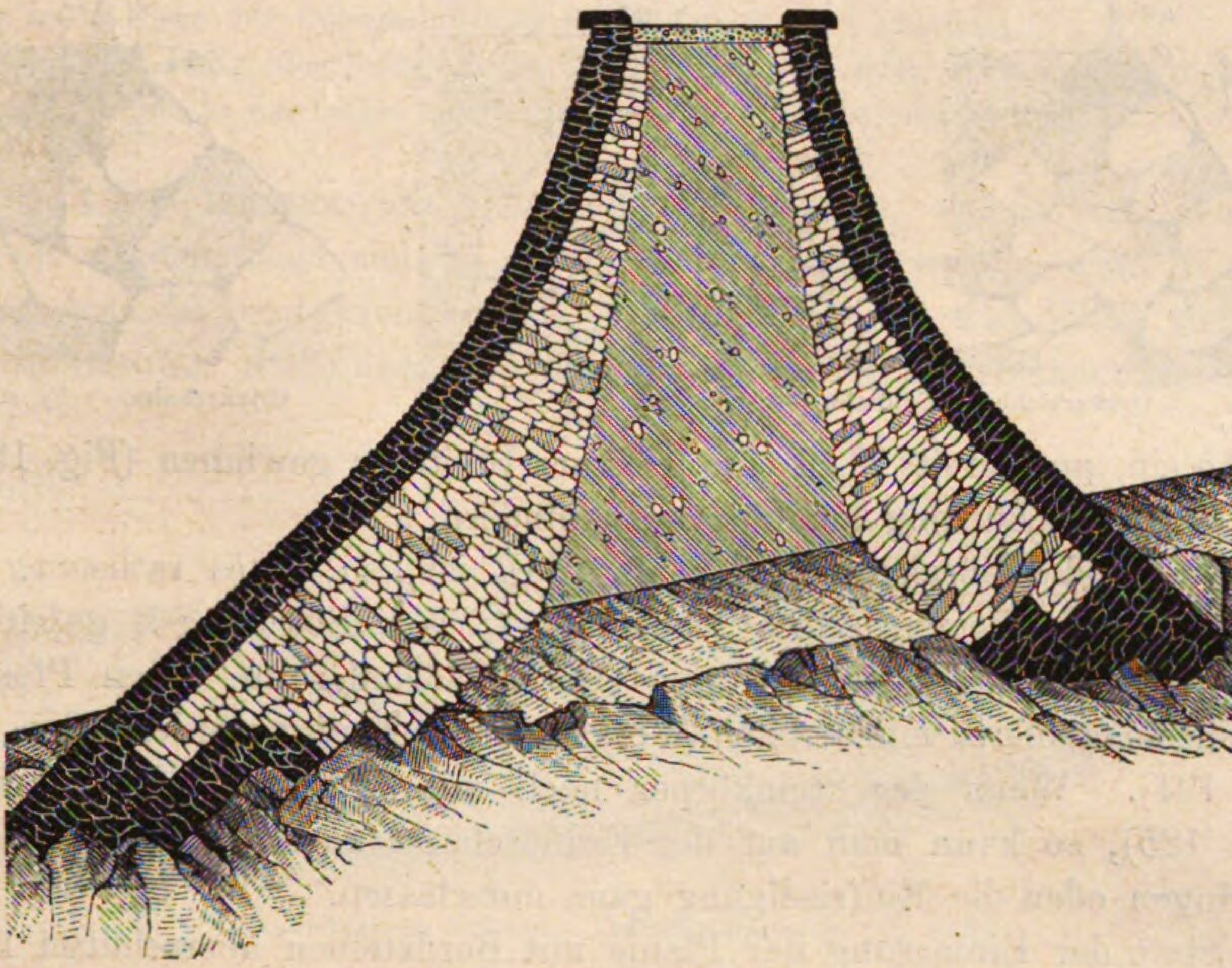
Fig. 188.



Rhein-Lahn-Bahn. — $^1/_{250}$ n. Gr.

Auf der **Brennerbahn** erhielten die $\frac{1}{2}$*fachen* Trockenmauern (Fig. 185) eine obere Stärke von $d = 1 + \frac{1}{6} h$, wenn keine Ueberschüttung und von $d = 1 + \frac{1}{6}(h + 12{,}5) = 1{,}2 + \frac{1}{6} h$ *Meter*, wenn eine $1{,}25^m$ hohe Ueberschüttung vorhanden war; wenn sich die Mauer zum Theil an Felsen lehnte, wurde $\frac{1}{8}$ statt $\frac{1}{6}$ gesetzt. Die

Fig. 189.



Bairisch-sächsische Bahn in Oberfranken. — $^1/_{400}$ n. Gr.

$\frac{2}{3}$*fachen* Trockenmauern (Fig. 187) erhielten eine obere Stärke von $d_0 = 1{,}25$ *Meter* und eine untere Stärke von $1{,}25 + \frac{1}{5} h$ *Meter*. Schloss sich unterhalb derselben noch eine $\frac{4}{5}$*fache* Mauer an (Fig. 187), so erhielt dieselbe die konstante Stärke von $d_1 = d + \frac{1}{15} h_1$ *Meter*, wenn h_1 die Höhe des unteren Theiles BC bezeichnet.

Auf der Salzburg-Tiroler Bahn erhielten die Trockenmauern mit Ueberschüttung von *1 Meter* und ohne Ueberschüttung bei $\frac{2}{3}$*facher* Anlage (Fig. 186) die obere Dicke $BD = 1{,}2$ *Meter*, die untere Dicke $AC = d = 1{,}2 + 0{,}2\,h$, bei *1facher* oder $1\frac{1}{4}$*facher* Anlage die obere Dicke von *0,7 Meter* und die untere Dicke $d = 0{,}7 + 0{,}2\,h$.

Auf die theoretische Bestimmung der Stärke werden wir erst bei Besprechung der „Futtermauern" eingehen.

§. 147. Oberer Abschluss der Steindämme. An der oberen Kante des Dammes muss die Steinpackung schmal gehalten werden, um den nöthigen Raum zum Unterkrampen der Eisenbahnschwellen offen zu halten; man wendet hier meist eine Begrenzung durch **Bordsteine** von

höchstens *0,3* bis *0,6 Meter* oberer Breite an (Fig. 191). Von der Hinterfläche dieses Steines lässt man entweder die vertikale oder ein wenig geneigte Hinterfläche des Steindammes beginnen (Fig. 180), oder man schaltet zwischen dieser Fläche und den Bordsteinen eine etwa *1fache*

Fig. 190.

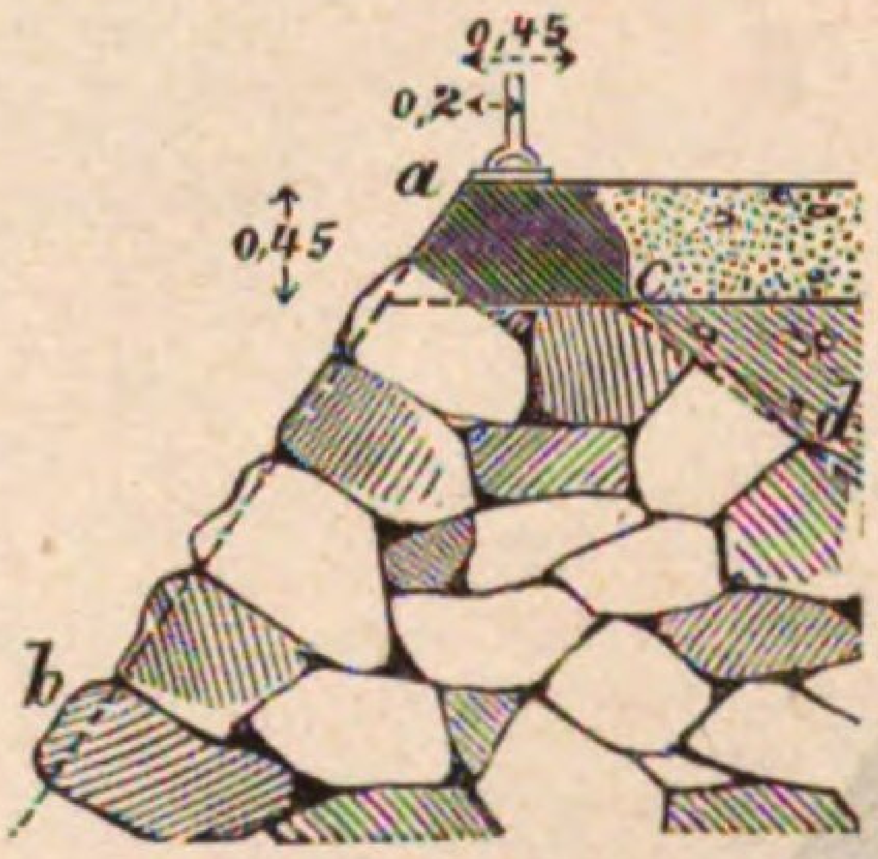
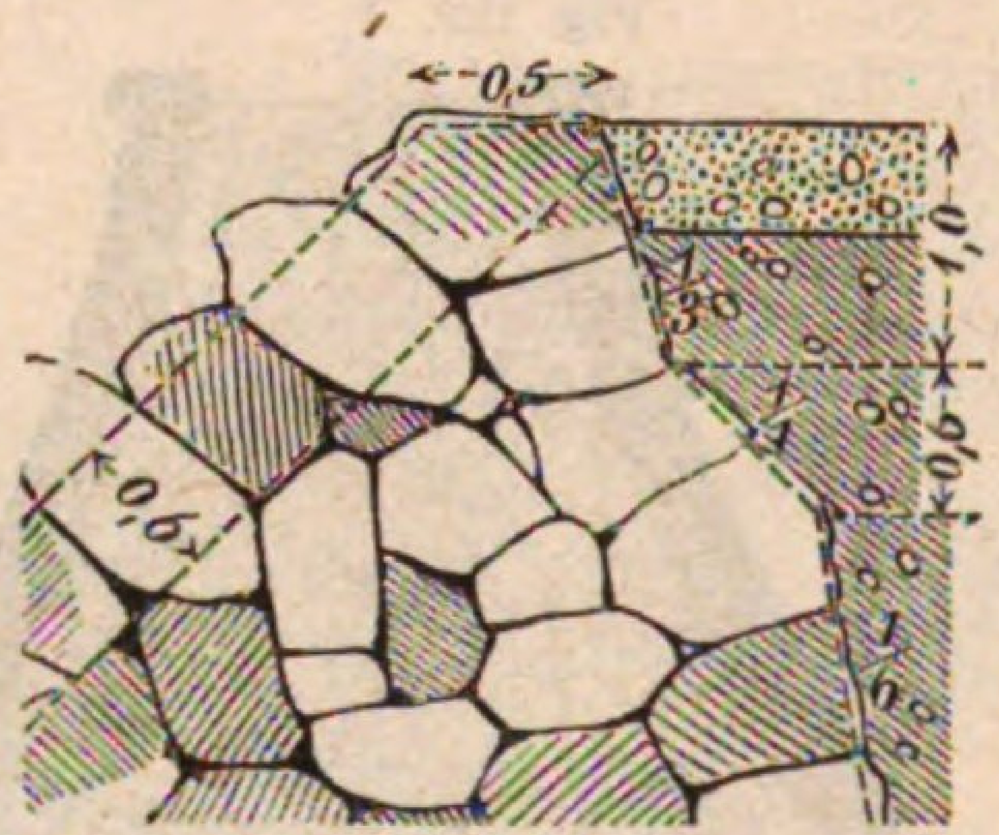
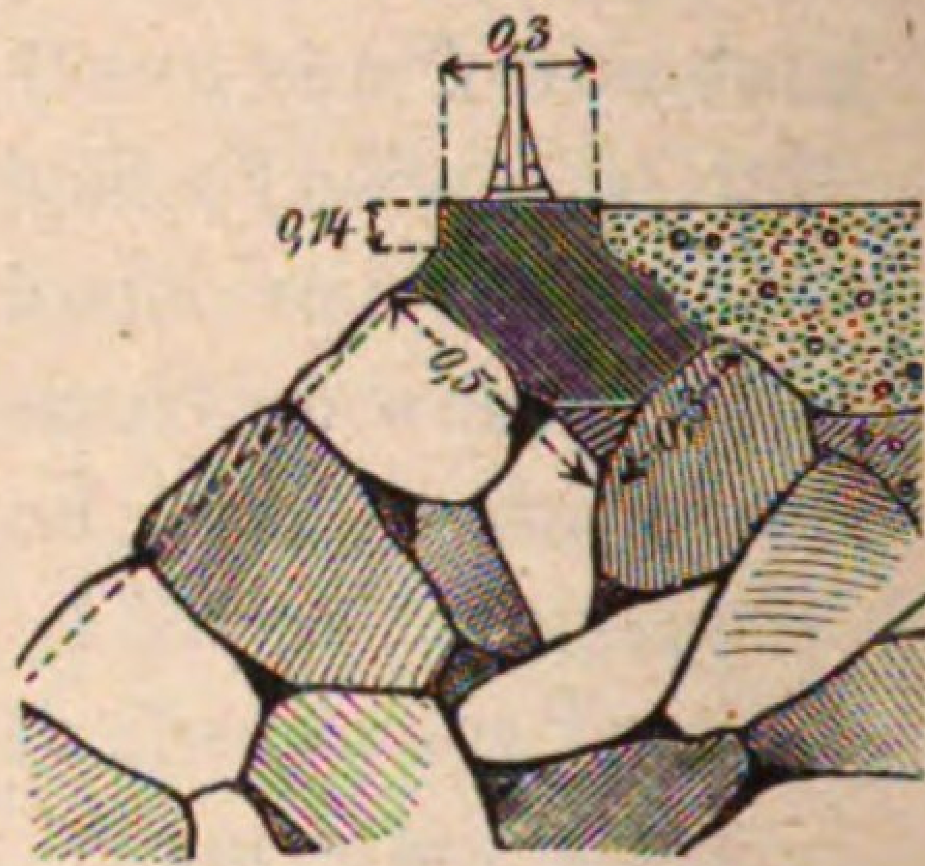


Fig. 191.



Oesterreichische Südbahn. — $^1/_{50}$ n. Gr.

Fig. 192.



Orleansbahn. — $^1/_{25}$ n. Gr.

Fläche ein, um bereits oben eine grössere Breite zu gewinnen (Fig. 191), ohne die Erdschüttung am Setzen zu hindern.

Wenn die Böschung steiler als *1fach* ist, so ist es rathsam, ein Geländer anzubringen; selbst schon bei *1fachen* Böschungen geschieht dies zuweilen. Meist wendet man eiserne Geländer an, deren Pfosten an einzelnen hierzu eingesetzten Werkstücken befestigt werden (Fig. 190 und 191). Wenn der Steinkörper noch mit Erde überschüttet wird (Fig. 185), so kann man auf der Erdböschung auch ein Holzgeländer anbringen oder die Einfriedigung ganz unterlassen.

Statt der Einfassung der Planie mit Bordsteinen überschüttet man wohl auch den Steinkörper mit dem Bettungsmateriale (Fig. 183 und 184). In diesem Falle darf aber der Steinkörper nicht bis in die unmittelbare Nähe der Schwellen reichen, da sonst durch die ungleichmässige Unterstützung derselben die Erhaltung ihrer richtigen Lage schwierig würde.

Fig. 193.

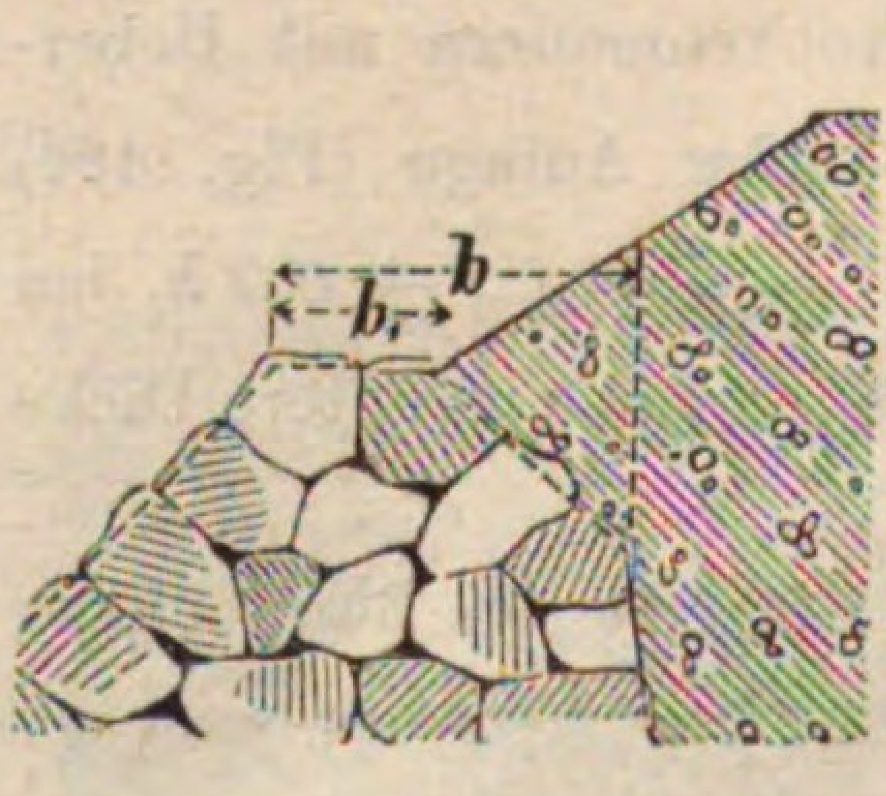


Fig. 194.

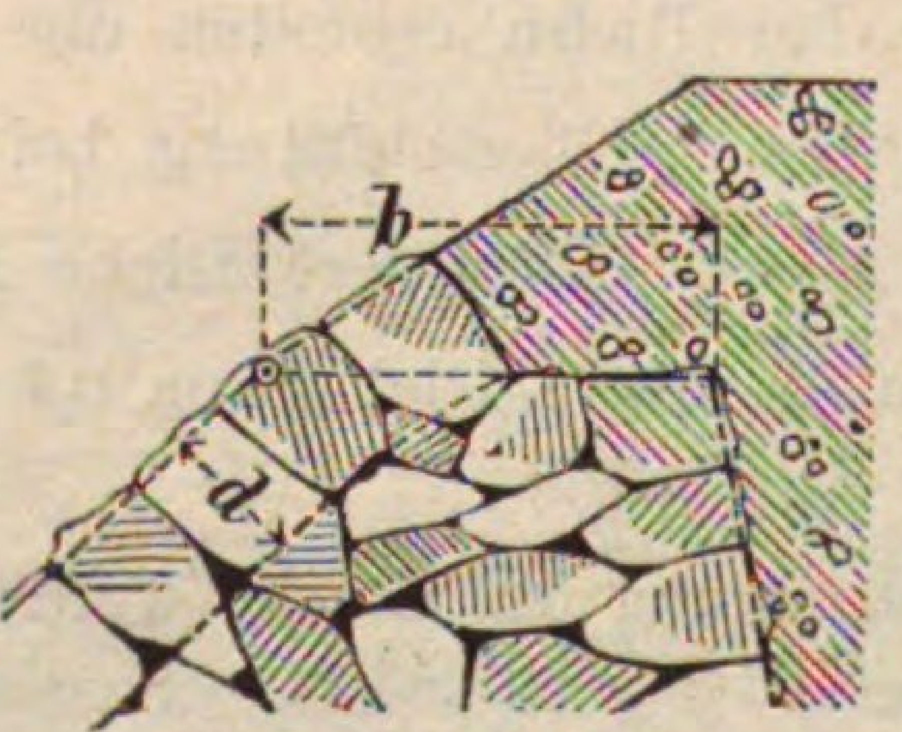
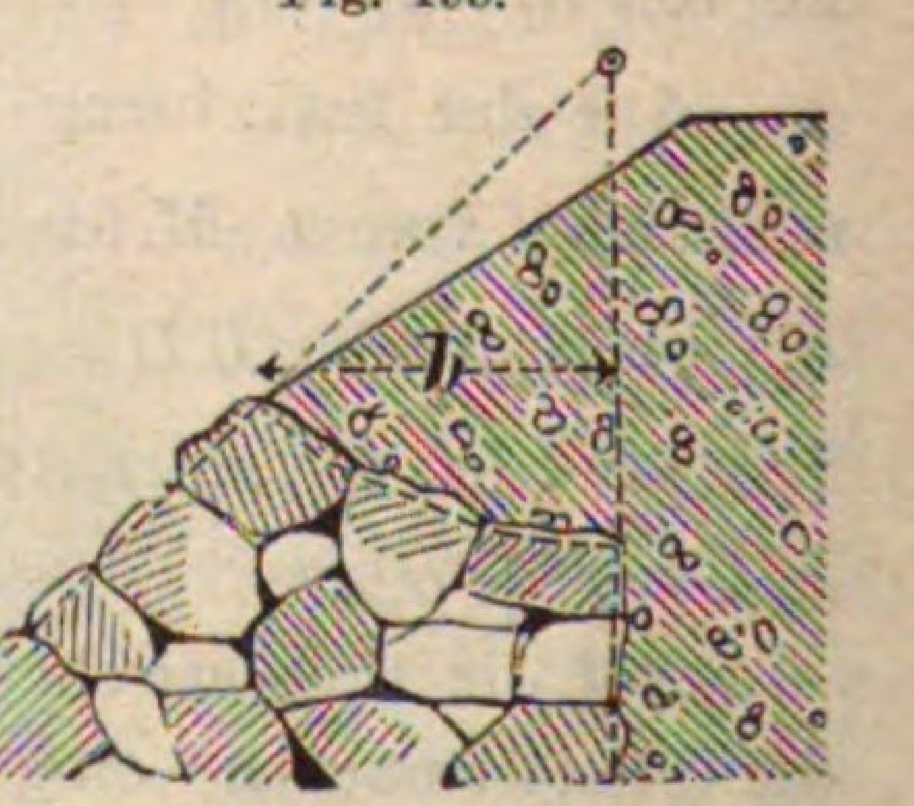


Fig. 195.



$^1/_{50}$ n. Gr.

Der obere Abschluss der Steinvorlagen muss so erfolgen, dass die Trennungsfläche senkrecht oder nahezu senkrecht auf der Erdböschung steht, um ein Abgleiten der Erde zu verhindern (Fig. 193 bis 195). Zuweilen ordnet man hier auch eine Berme an (Fig. 193), um von der

Erdböschung sich ablösende Erdtheile nicht auf die Steinböschung gelangen zu lassen und eine etwaige Heuerndte auf der Erdböschung ohne Gefahr möglich zu machen.

Nach den Normalien der österreichischen Südbahn und Nordwestbahn erhält die Steinvorlage die obere Breite

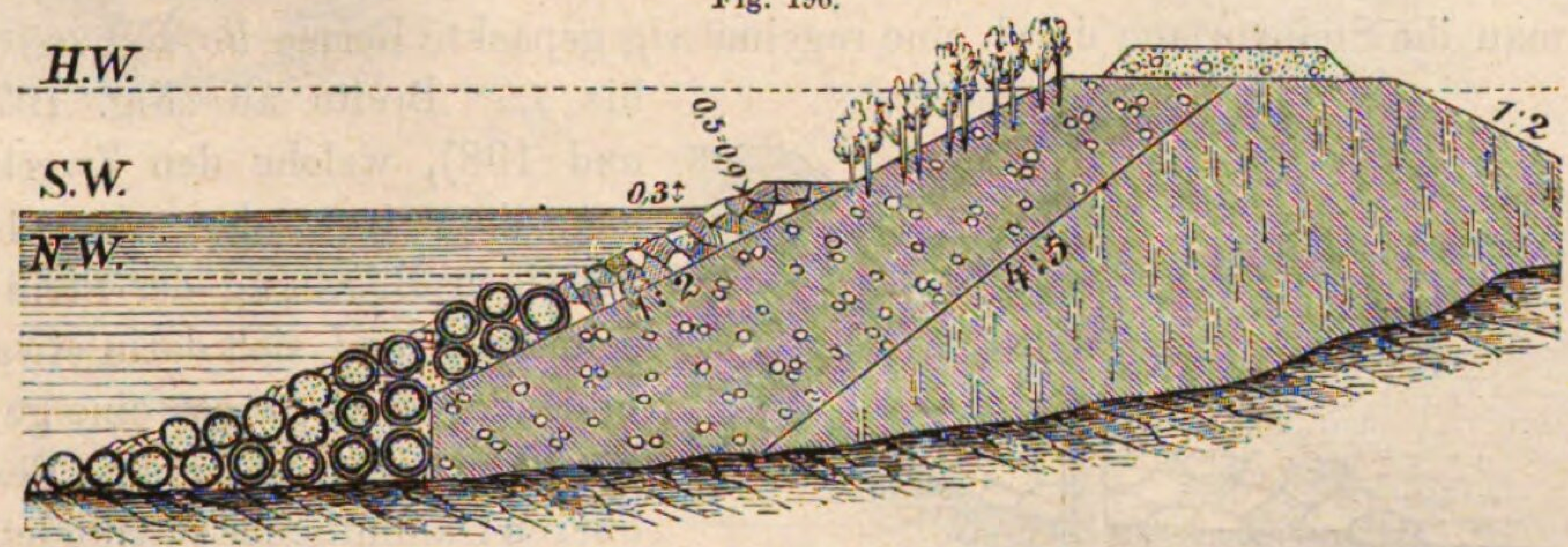
$$b = 1 + 0{,}05\, h \text{ Meter},$$

wenn h die Höhe der Ueberschüttung der Steinvorlage bezeichnet.

Die Einfassung der Stützmauern durch Geländer oder Parapetmauern ist in Oesterreich nur in der Nähe von Stationen gesetzlich vorgeschrieben.

§. 148. Dämme am Wasser. Für Dämme, welche vom Wasser bespült werden, lässt sich nur Material anwenden, welches vom Wasser nicht erweicht und nicht leicht weggespült wird, wie Kies, Gerölle, Steinschüttung. Kann man nicht den ganzen Damm aus solchem Materiale

Fig. 196.

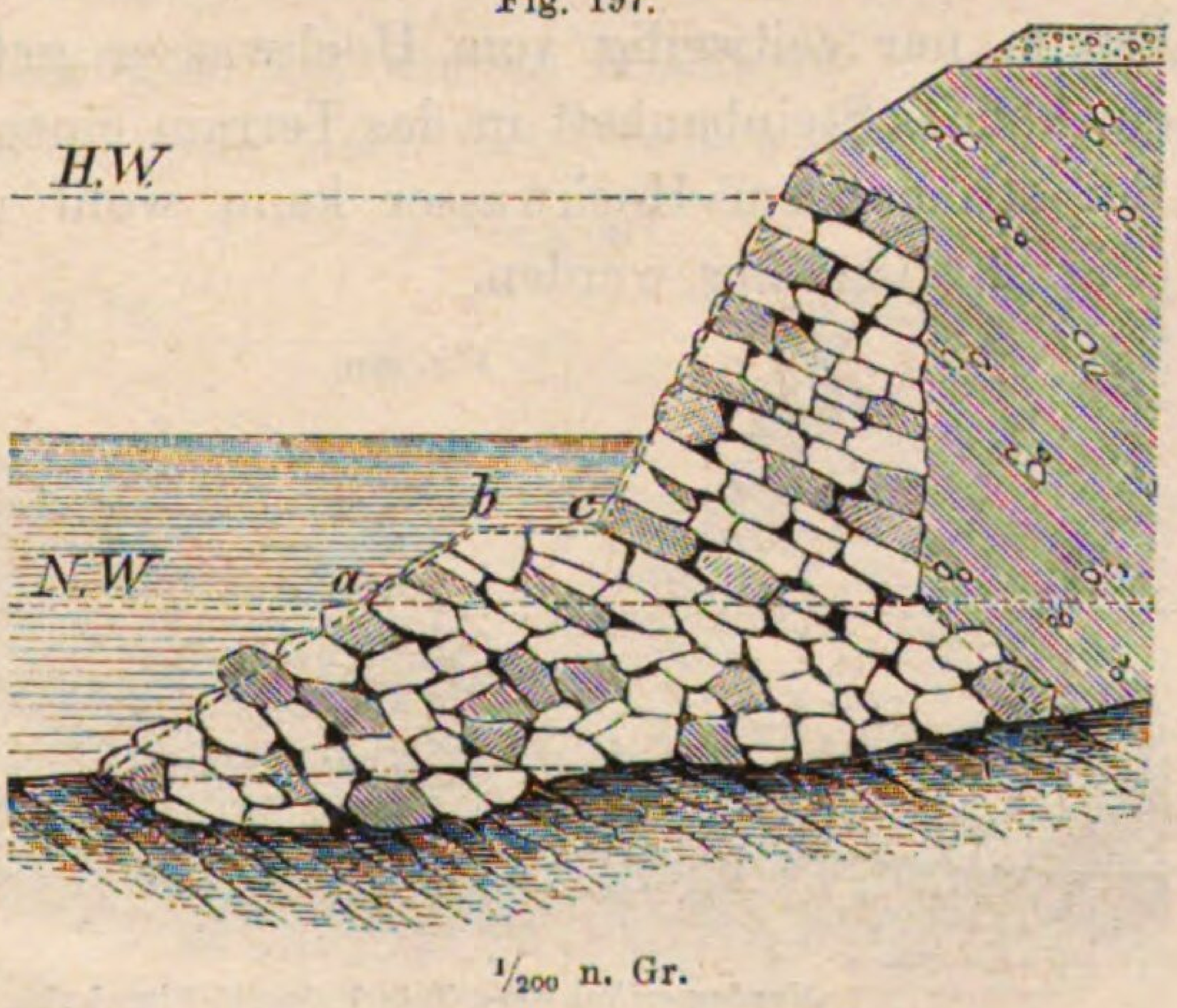


Oesterreichische Südbahn. Legrader Lehne. — $^1/_{300}$ n. Gr.

bilden, so muss man solches wenigstens in genügender Stärke auf der vom Wasser getroffenen Seite anwenden (Fig. 196).

Besonders wichtig ist die Sicherung des Fusses, welcher so anzulegen ist, dass Unterwaschungen nicht möglich oder ohne schädliche Wirkung sind. Am wirksamsten ist eine Steinschüttung oder Steinvorlage; bei fliessendem Wasser müssen die Steine möglichst gross und schwer sein, so dass sie einer Bewegung durch das Wasser einen genügenden Widerstand leisten. Man wird diese Schüttung wo möglich bei niedrigem Wasserstande vornehmen. Das Ausbaggern einer Rinne für den Fuss der Steinvorlage ist zweckmässig,

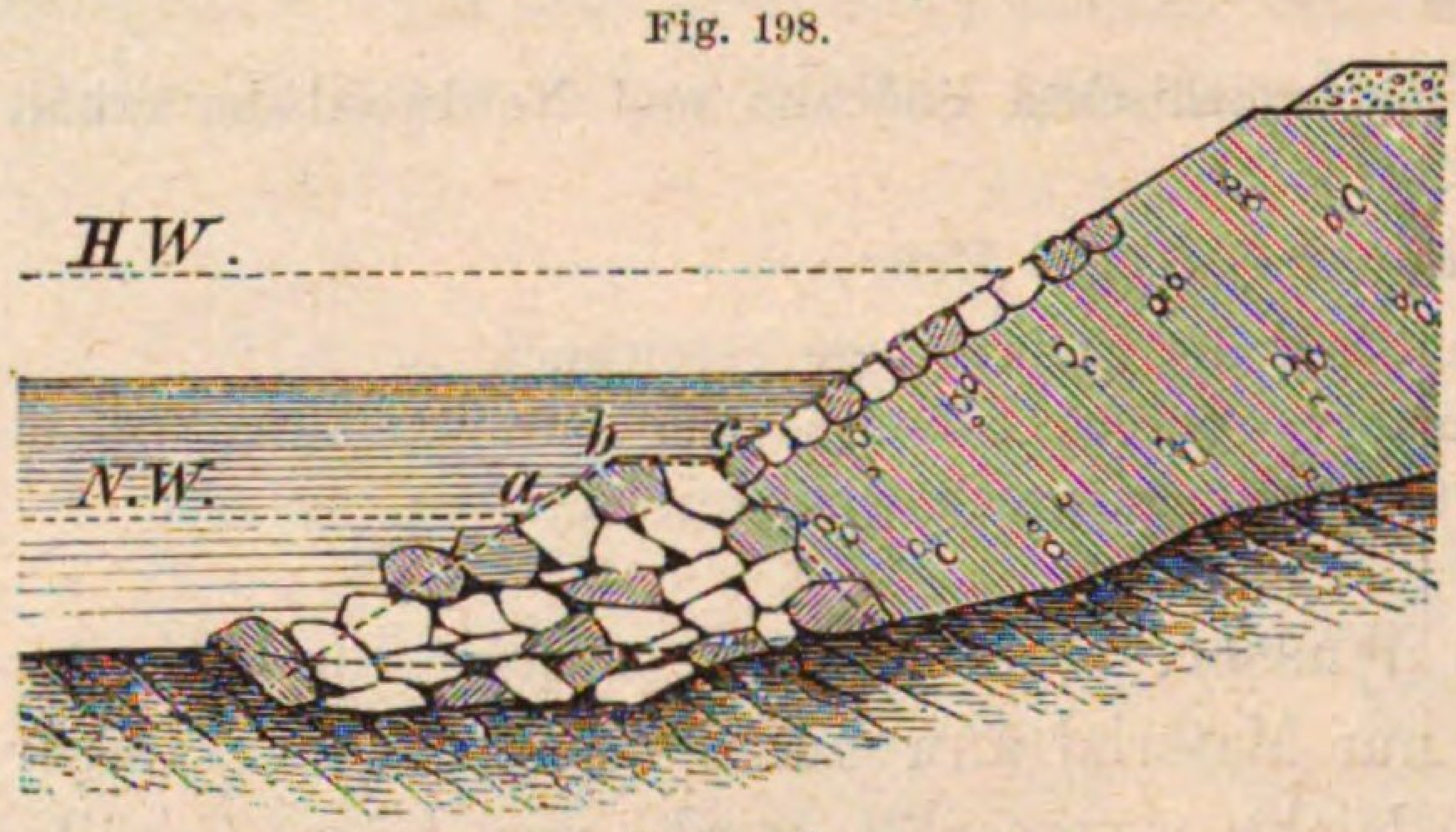
Fig. 197.



$^1/_{200}$ n. Gr.

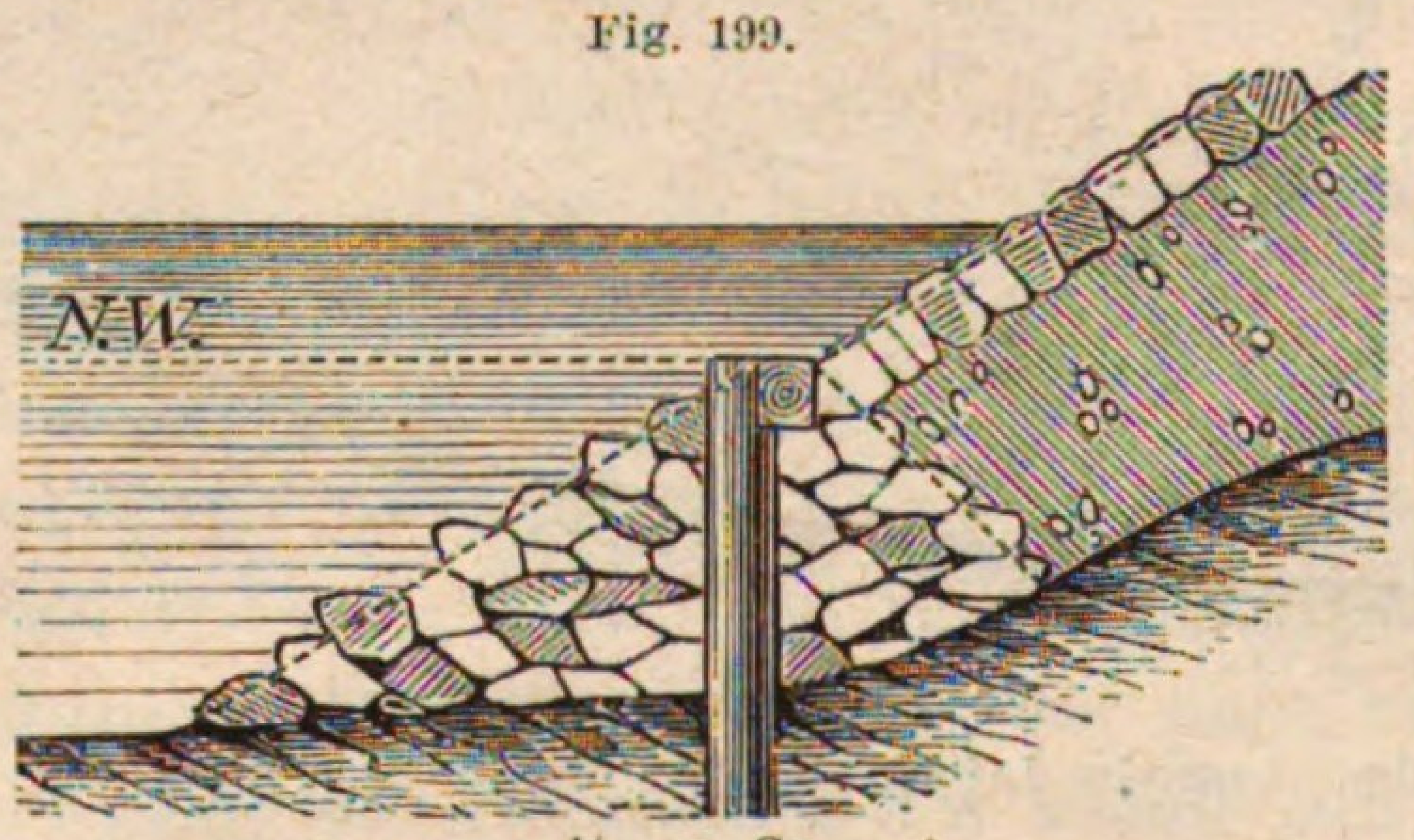
da hierdurch einer Verschiebung des Dammes mehr vorgebeugt wird. Bildet man diese Rinne nicht durch Baggern, so bildet sie sich häufig selbst durch Unterwaschen; man muss in diesem Falle dafür sorgen, dass neues Steinmaterial nachgeschüttet werden kann oder von selbst nachfällt und den oberen Theil des Dammes nicht eher vollenden, als Bewegungen des Fusses aufhören. Die Steinvorlage erhält etwa auf der Wasserseite $1\frac{1}{2}$ ***fache***, auf der Rückseite **1** ***fache*** Böschung. Oben schliesst man die Steinvorlage durch eine regelmässig gepackte Berme *bc* von *0,8*^{m} bis *1,5*^{m} Breite ab (Fig. 197 und 198), welche den Zweck hat, dass trotz der unregelmässigen Böschung der Steinschüttung und sich darin etwa bildender Vertiefungen eine genügende Unterstützung des oberen Dammtheiles stattfindet. Sind wenig Steine vorhanden oder ist das Ufer sehr steil oder der Strom sehr reissend, so sichert man die Steinvorlage durch verholmte Pfähle, welche vor dem Einschütten der Steine eingerammt werden (Fig. 199); bei grösserer Höhe der Vorlage verbindet man die Pfahlwand auch wohl noch durch Erdanker mit dem Ufer. Wird der Damm nur zeitweilig vom Hochwasser getroffen, so genügt es meist, ein kleines Steinbankett in das Terrain einzuschneiden (Fig. 201 und 202). Bei strömendem Hochwasser kann wohl noch ein Steinwurf *ABCD* (Fig. 202) nöthig werden.

Fig. 198.



$^1/_{200}$ n. Gr.

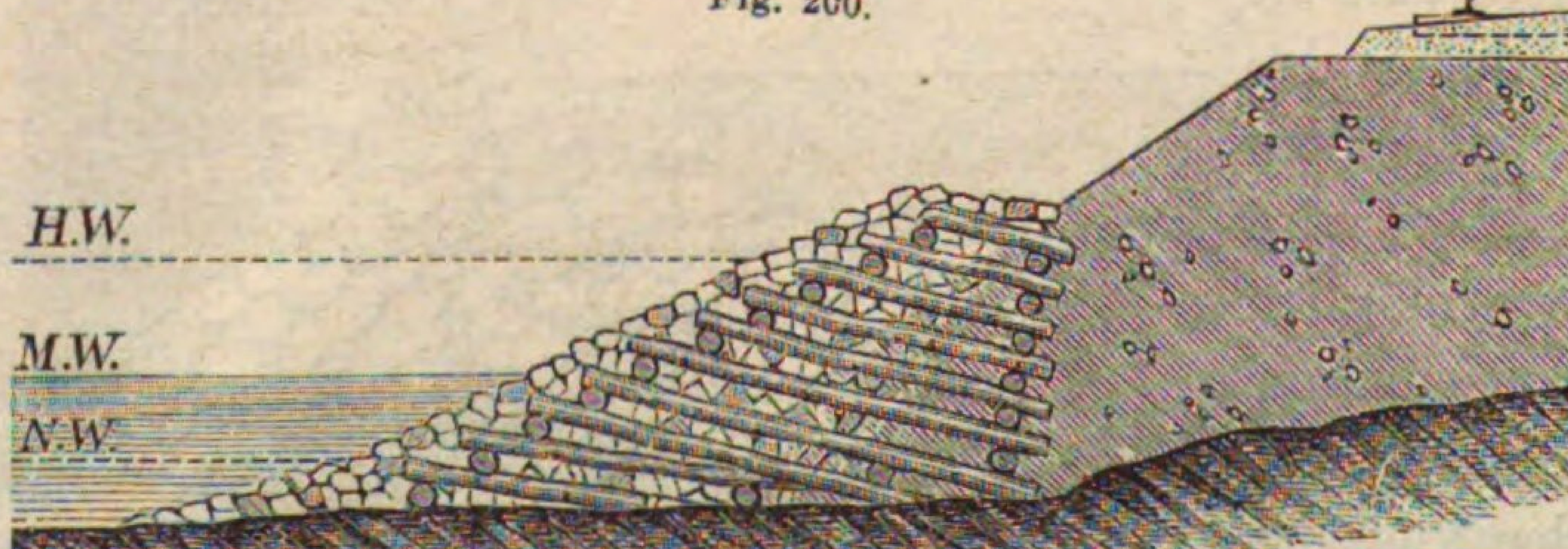
Fig. 199.



$^1/_{200}$ n. Gr.

In Amerika befindet sich zuweilen in der Steinschüttung eine Gerippe aus unbeschlagenen Holzstämmen (engl. *the framework*), um einen

Fig. 200.

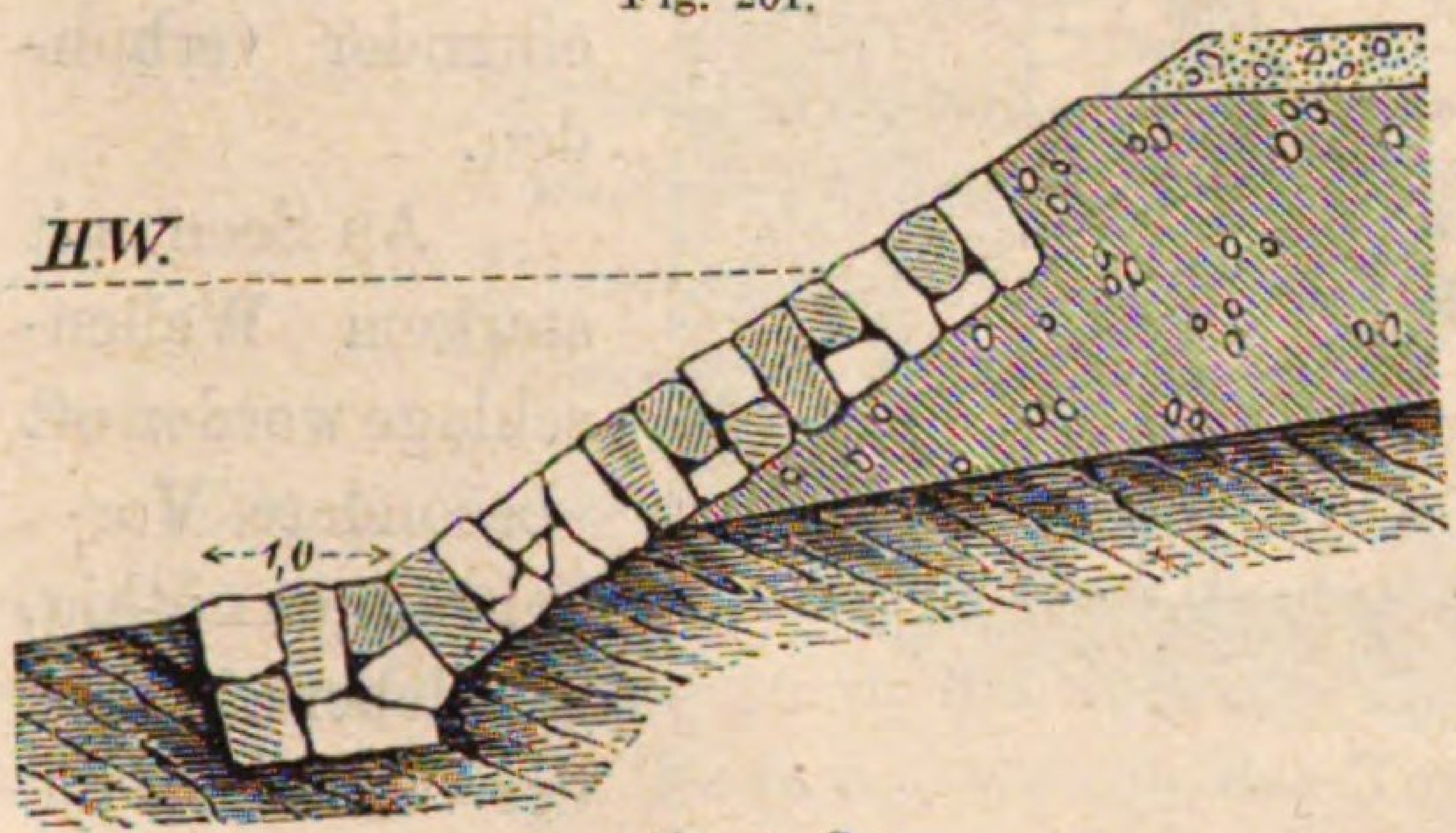


Nordamerikanische Interkolonial-Eisenbahn.

grösseren Zusammenhalt, also grösseren Widerstand gegen heftige Strömung zu erhalten.

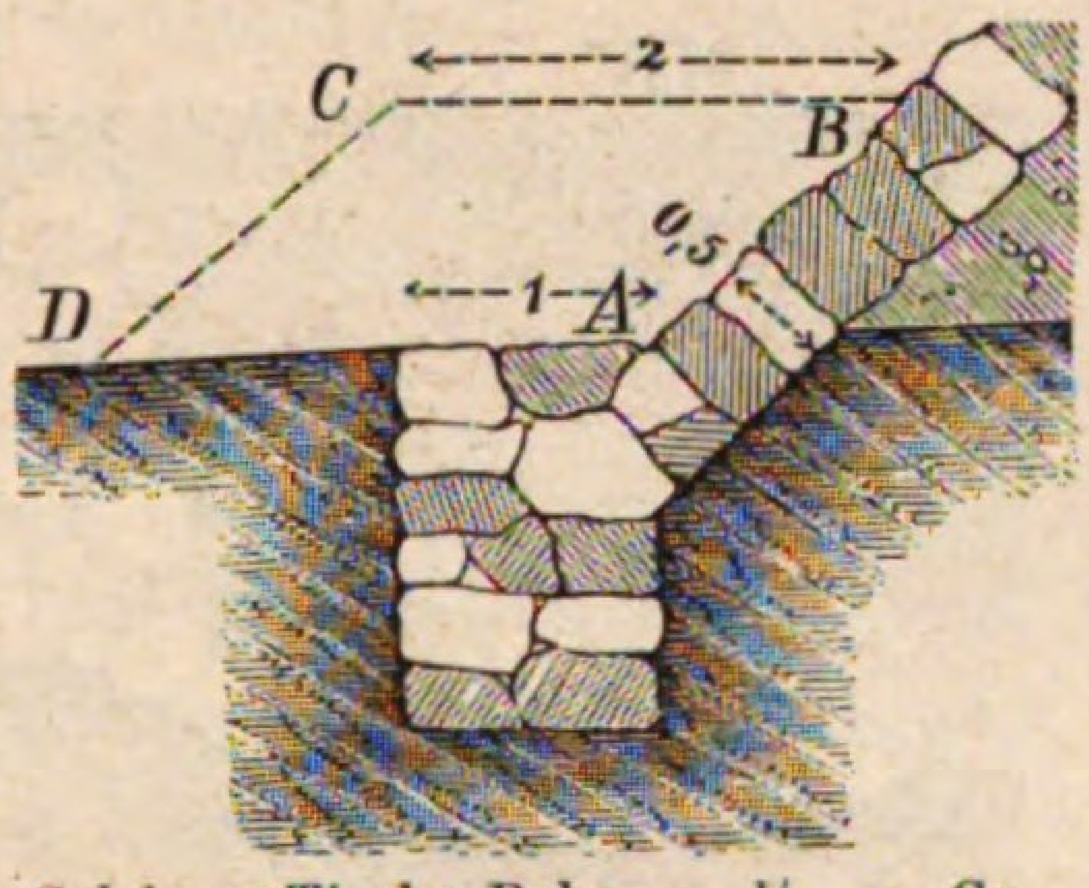
Wegen Mangel an Steinen muss man die Vorlagen zuweilen aus Faschinen bilden. Entweder wendet man gewöhnliche Faschinen in Senklagen oder Senkfaschinen (Fig. 196) an. Das letztere dürfte hier wohl meist vorzuziehen sein.

Fig. 201.



$^1/_{100}$ n. Gr.

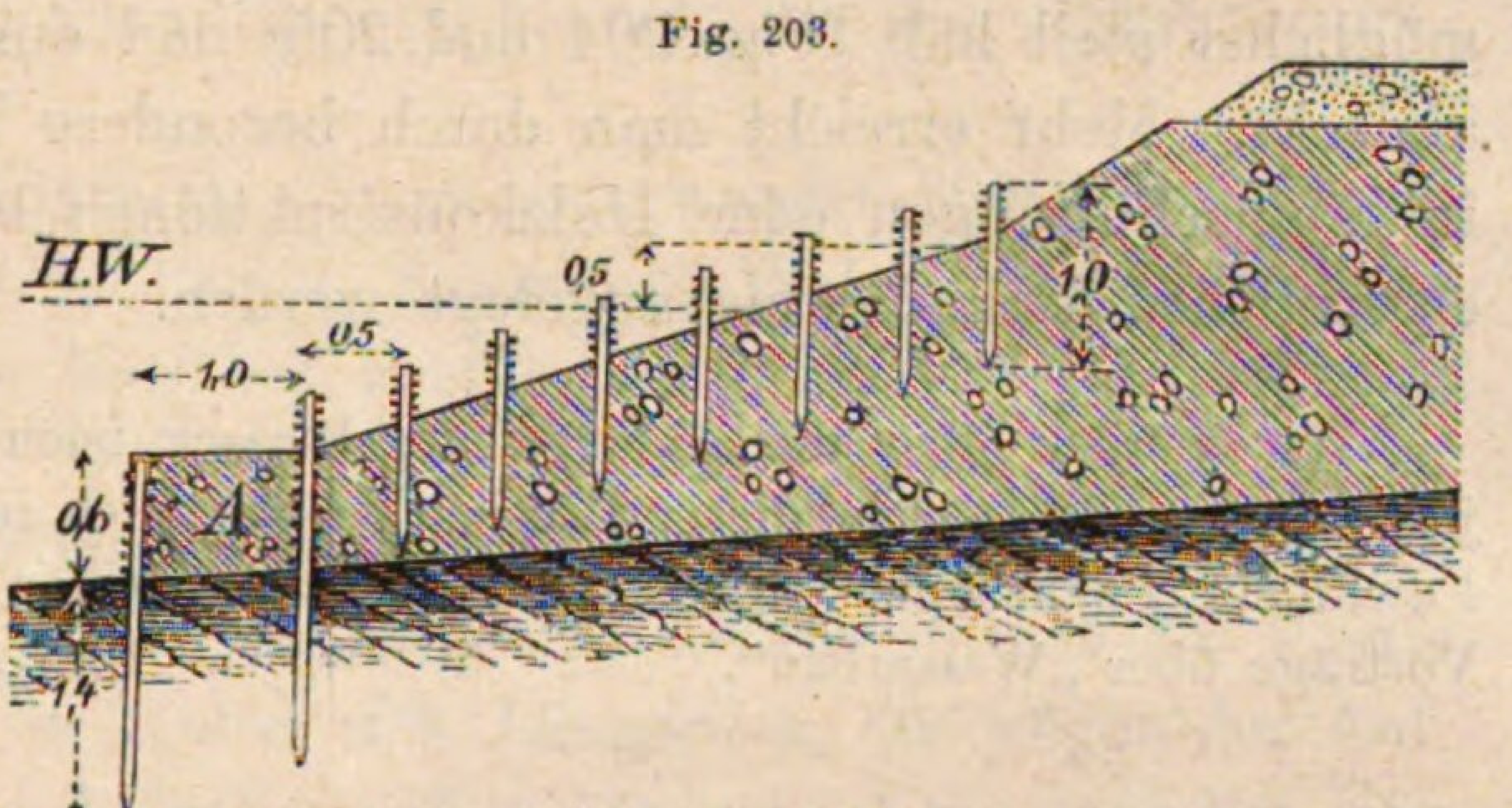
Fig. 202.



Salzburg-Tiroler-Bahn. — $^1/_{100}$ n. Gr.

Ueber dem Niederwasser wendet man gegen den Wellenschlag, gegen die Strömung und das Eis am besten eine Steinpflasterung (Fig. 188, 198 und 199) oder eine Steinpackung (Fig. 196) an. Je nach der Geschwindigkeit des Stromes erhält diese Steindecke *0,4* bis *1,0*^{m} *Dicke;* man kann ihr meist *1½fache* Böschung geben. Ist genügend viel Steinmaterial vorhanden oder eine steilere Böschung erwünscht, so ist, wie im Trocknen, je nach Umständen ein halber Steindamm, eine über das Niederwasser reichende Steinvorlage (Fig. 188) oder eine Trockenmauer (Fig. 184 und 197) anzuwenden.

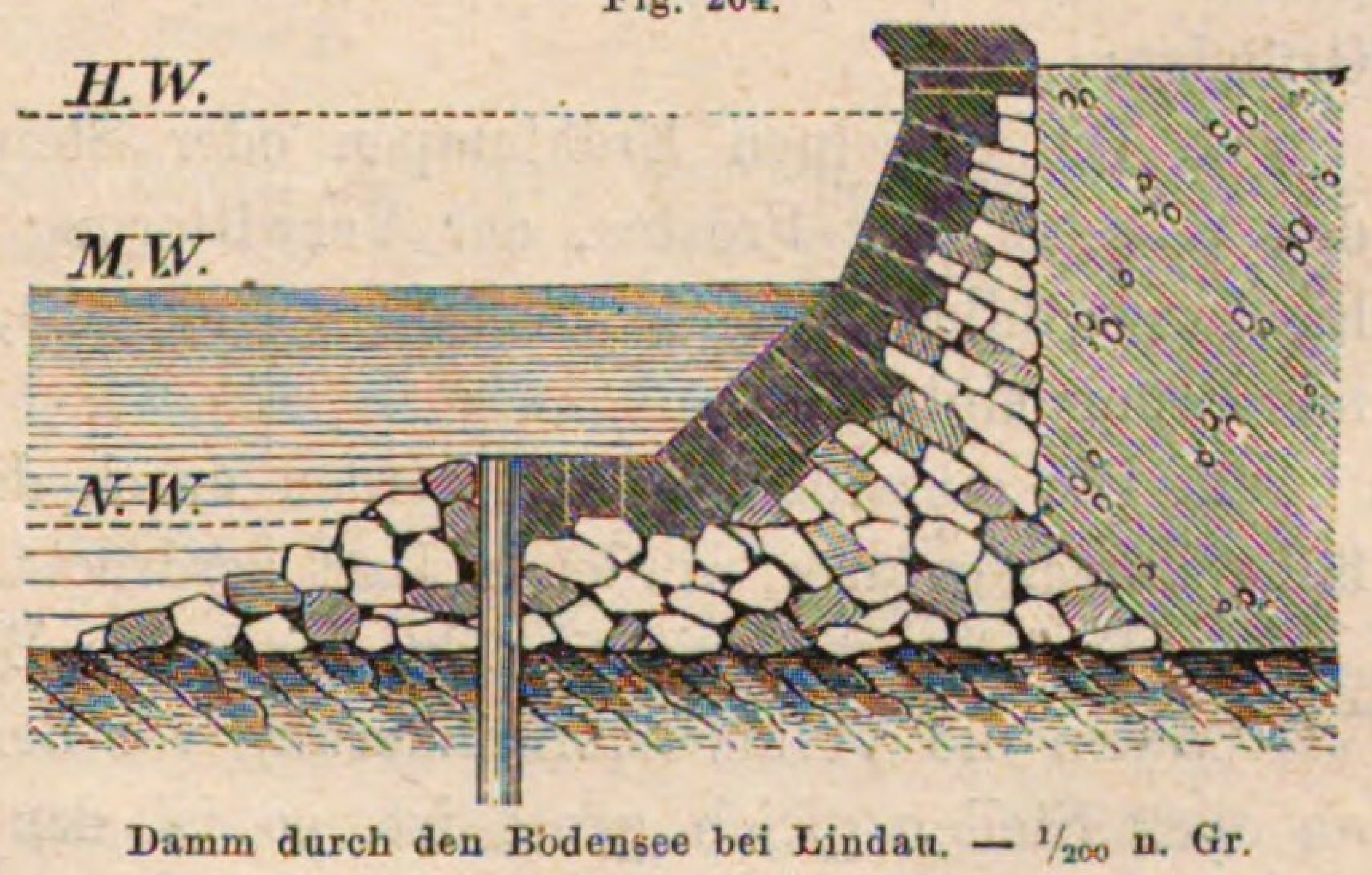
Fig. 203.



Normalien der oesterr. Nordwestbahn. — $^1/_{100}$ n. Gr.

Bei Steinmangel ist eine Rasendecke bei *3* bis *4 facher* Böschung, eine Pflanzung bei etwa *2 facher* Böschung oder ein Flechtzaunsystem bei *2* bis *3 facher* Böschung

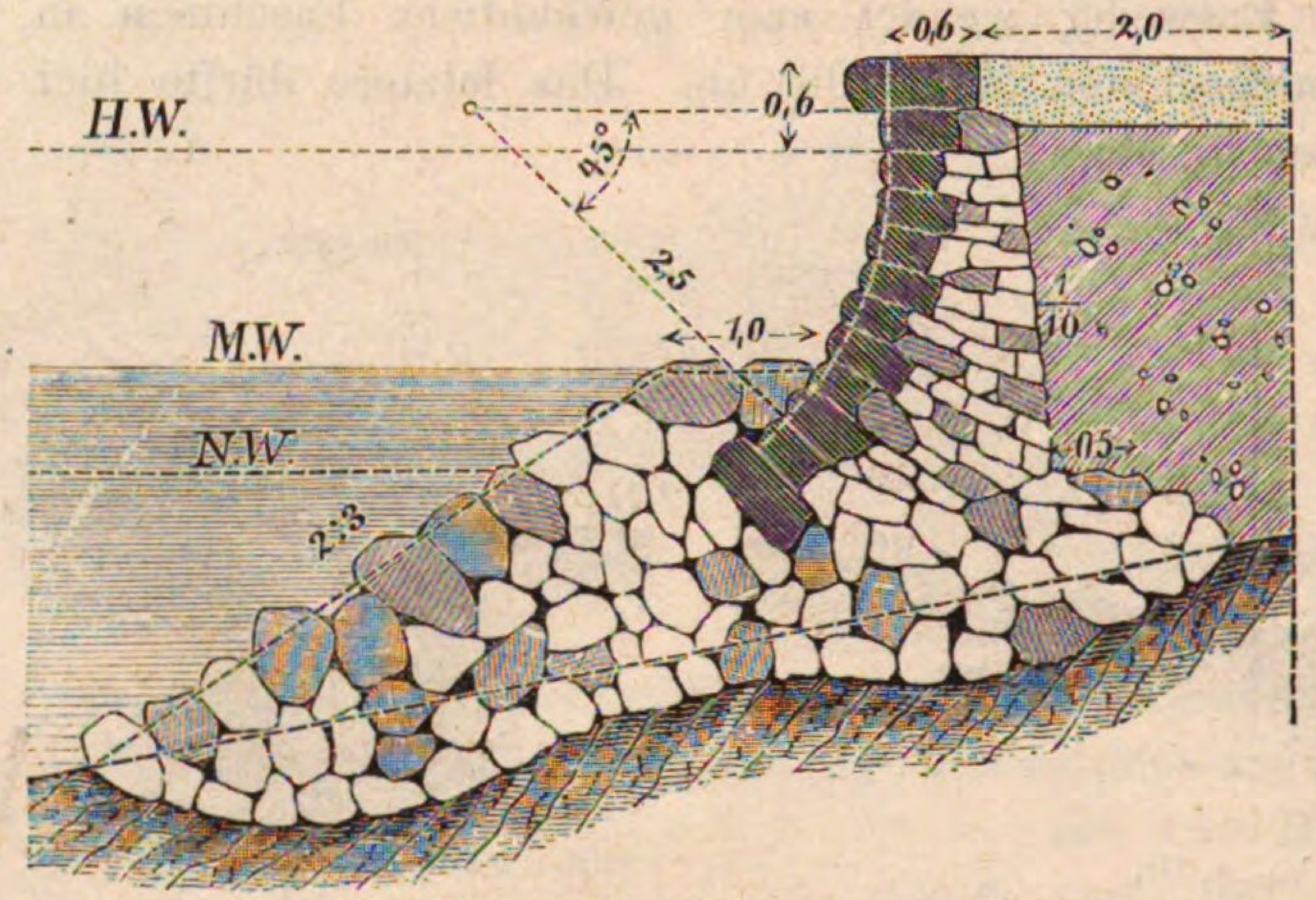
Fig. 204.



Damm durch den Bodensee bei Lindau. — $^1/_{200}$ n. Gr.

(Fig. 203) anzuwenden. In Fig. 203 ist *A* ein Bankett, welches von einer Kies- oder Schottermasse gebildet wird, die von starken Flechtzäunen eingeschlossen ist; letztere sind durch Querflechtzäune (in Entfernungen von *1,2 Meter*) mit einander verbunden.

Fig. 205.



Linksufrige Zürichsee-Bahn. — $^1/_{100}$ n. Gr.

An Seen mit starkem Wellenschlage werden oft besondere Vorkehrungen nöthig, das Ueberschlagen der Wellen auf die Bahn zu verhüten oder zu mässigen. Zum Theil wird dies schon dadurch erreicht, dass man den oberen Theil möglichst steil hält (Fig. 204 und 205) und durch vorspringende Platten abdeckt. Mehr erreicht man durch besondere Wellenbrecher, welche in Steinschüttungen oder Holzkonstruktionen bestehen, welche vor dem eigentlichen Bahndamme angelegt werden.

Wir würden über die Anlagen am Wasser noch Vieles mitzutheilen haben; jedoch verweisen wir in dieser Hinsicht, namentlich in Betreff der Anwendung der Faschinen, Pflanzungen, Flechtzäune und Anlagen an Seen und am Meere auf die Vorträge über „Wasserbau".

§. 149. Das Setzen der Dämme. Die Dämme zeigen eine allmählige, oft mehrere Jahre hindurch anhaltende Verminderung der Höhe und der Form der Böschungen, das sogen. Setzen oder Sacken (franz. *le tassement*, engl. *the settling, settlement*), und zwar aus folgenden Gründen:

1. Die einzelnen Erdklumpen oder Steinstücke zerfallen in Folge des Wassers, des Frostes, der Verwitterung und der Erschütterungen; hierdurch füllen sich die Zwischenräume aus, so dass eine Volumenverminderung eintritt.

2. Die einzelnen Stücke werden durch die mit wachsender Dammhöhe immer grösser werdende Last zerdrückt.

3. Weiches Material weicht durch die Belastung zur Seite aus.

Wenn die Volumenverminderung vor der Vollendung des Dammes an allen Stellen gleich gross ist, so ist das Setzen, d. i. die Höhen-

verminderung Δh, von der Vollendung des Dammes an gerechnet, der Höhe h des Dammes proportional. Da sich aber die unteren Schichten schon während der Ausführung sehr stark setzen, so wächst das Setzen in einem geringeren Verhältnisse, als die Höhe, ist also mehr konstant.

Steinschüttung, Gerölle, Kies und grober Sand ohne Erdmaterial zeigen ein geringes Setzen; viel stärker setzt sich Dammerde, am meisten aber Lehm und Thon. Man pflegt ungefähr anzunehmen:

Steinschüttung $\Delta h = 0{,}025\, h$,
Sandiger Boden $\Delta h = 0{,}044\, h$,
Dammerde $\Delta h = 0{,}073\, h$,
Lehmiger und thoniger Boden $\Delta h = 0{,}083\, h$.

Weil das Setzen der unteren Schichten etwas stärker ist, so nehmen die Böschungen eine etwas konkave Form an. Nur bei knetbarem Boden vermehrt sich die Breite in den unteren Theilen; an der Sohle vermehrt sie sich wegen der Reibung, welche das Terrain bietet, meist nicht; die Böschung wird in diesem Falle eine wellenförmige, oben konkave, unten konvexe Form annehmen.

In den oberen Schichten tritt auch eine geringe Verminderung der Breite ein; jedoch ist dieselbe viel kleiner, als die Höhenverminderung.

Um das Setzen möglichst zu vermindern, wendet man verschiedene Mittel an, wie Schüttung in Lagen, Stampfen, Walzen, Zuleitung von Wasser etc. Wir werden hierüber ausführlicher bei der „Ausführung der Erdbauten" sprechen.

Bei stark geneigtem Terrain setzt sich der Damm auf der einen Seite stärker, als auf der anderen; in Folge dessen nimmt die Planie eine schiefe Lage an und es bilden sich Längsrisse, die wegen der Aufnahme von Wasser sehr nachtheilig wirken können. Hier ist daher eine künstliche Dichtung in den unteren Schichten besonders nöthig.

In gleicher Weise können sich auch Querrisse bilden, wenn sich die Höhe des Dammes im Längenprofile schnell ändert. Auch hier ist eine gleiche Vorsichtsmassregel nöthig.

Ausser dem hier besprochenen Setzen kann auch noch ein Setzen durch das Nachgeben des Untergrundes entstehen, was wir im nächsten Kapitel besprechen.

Carvallo machte in den Jahren 1854 bis 1856 ausführliche Beobachtungen über das Setzen auf der französ. Südbahn, aus welchen er die folgenden Schlussfolgerungen ableitet:

1. Die Setzung ist für die beobachteten Höhen von *0,8 bis 6,1 Met.*, bei welchen die Höhe mindestens gleich der *3fachen* Setzung ist, von der Höhe unabhängig. Wenigstens hat hier die Höhe keinen merklichen Einfluss.

2. Bei ein und demselben Materiale ist die Setzung verschieden je nach der Herstellungsweise des Dammes. Die Setzung wächst, je nachdem man Schubkarren,

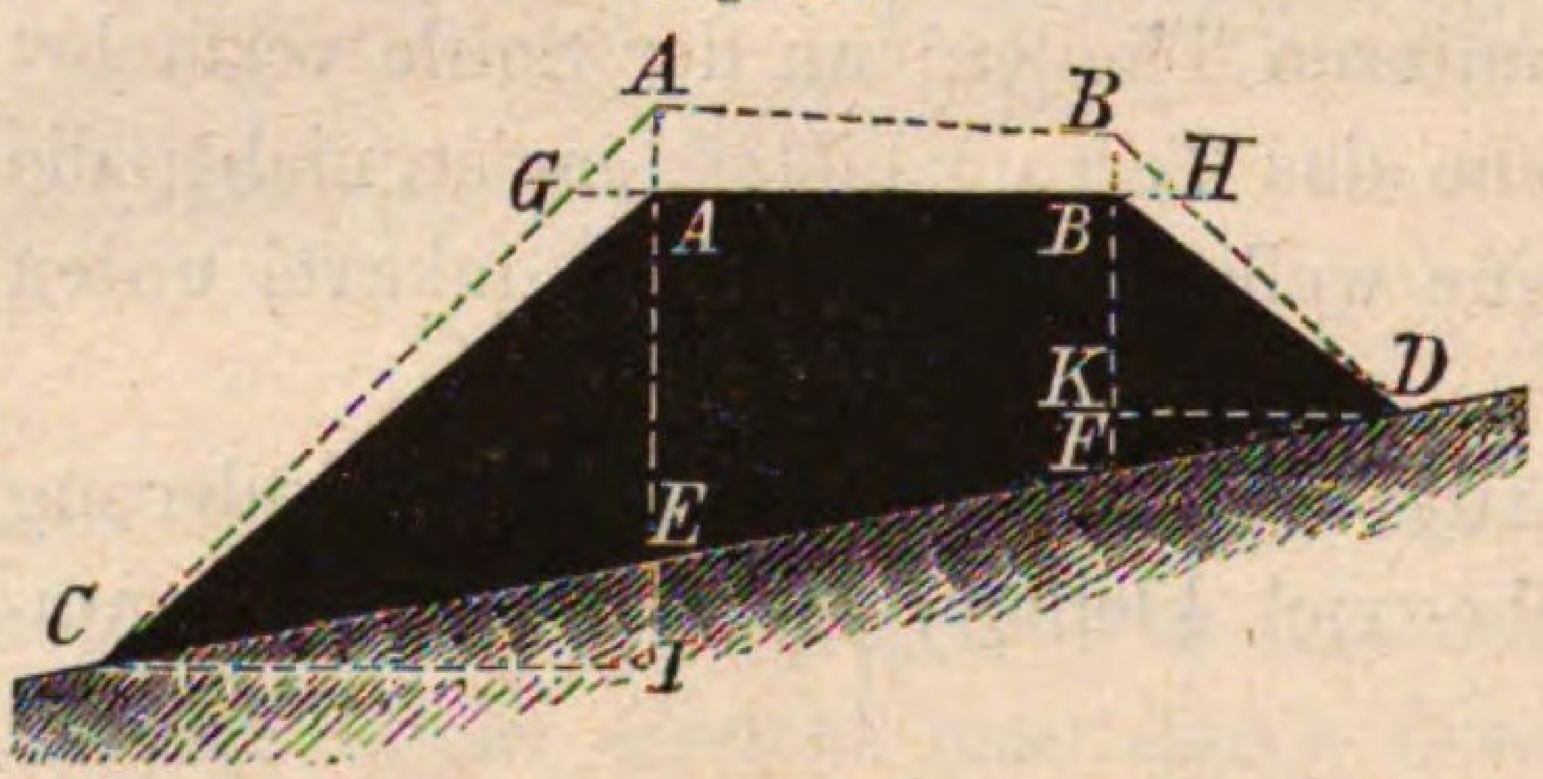
Kippkarren und Wagen anwendet. Sie ist bei der Lagenschüttung kleiner, als bei der Schüttung im Ganzen (Seiten- und Kopfschüttung).

3. Die Materialien ordnen sich hinsichtlich der Setzung in folgender Weise, wobei die erstgenannten die stärkste Setzung zeigen: 1. Thon und stark thonige Erden; 2. schlammiger Sand; 3. thonige, mit Kies gemengte Erde und vegetabilische Erde; 4. kiesige, in Konglomerat übergehende Erde; 5. mit Thon gemengte Bruchsteine; 6. Kieselkonglomerat; 7. erdiger Sand; 8. feuchter Sand; 9. Sand; 10. Sand und Kies.

4. Das Setzen erfolgt sehr unregelmässig; bei den Frühjahrs- und Herbstregen tritt sogar ein Blähen oder Anschwellen ein. Am wenigsten blähen sich Bruchsteine, Kies und reiner Sand. Nach 3 Jahren kann man das Setzen als beendet ansehen.

§. 150. Ueberhöhung und Erbreiterung der Dämme. Um trotz des Setzens der Dämme die Planie in der projektirten Höhe zu erhalten, werden die Dämme entweder von vornherein um die Grösse der Setzung höher angelegt oder man gibt ihnen in der projektirten Planiehöhe eine grössere Breite, so dass ein Nachhöhen möglich wird, ohne dass die Planiebreite kleiner würde, als sie projektirt wurde. Auch hat man beide Mittel gleichzeitig angewendet.

Fig. 206.



Bezeichnen wir die Verbreiterung $A'G$ (Fig. 206) auf jeder Seite mit Δb, das Setzen AA' mit Δh, den Böschungswinkel AGA' mit α, so ist offenbar

$$\Delta b = \Delta h \cot \alpha.$$

Hiernach wird, wenn man für Erddämme $\cot \alpha = 1\frac{1}{2}$, für Steindämme $\cot \alpha = 1$ annimmt,

Steinschüttung $\Delta h = 0{,}025\, h = \frac{1}{40} h, \quad \Delta b = 0{,}025\, h = \frac{1}{40} h,$

Sandiger Boden $\Delta h = 0{,}044\, h = \frac{1}{23} h, \quad \Delta b = 0{,}066\, h = \frac{1}{15} h,$

Dammerde . . $\Delta h = 0{,}073\, h = \frac{1}{14} h, \quad \Delta b = 0{,}109\, h = \frac{1}{9} h,$

Lehmiger und thoniger Boden

$\Delta h = 0{,}083\, h = \frac{1}{12} h, \quad \Delta b = 0{,}124\, h = \frac{1}{8} h.$

Hierbei ist horizontales Terrain vorausgesetzt. Bei geneigtem Terrain soll erfahrungsgemäss für die Thalseite, wenn man $AE = h$, $EJ = h_1$, $A'G = \Delta b$ setzt, annähernd die Beziehung gelten:

$$\Delta b = (h + \tfrac{1}{2} h_1),$$

worin A den im Vorigen angegebenen Koefficienten bezeichnet; für die Bergseite wird die nöthige Erbreiterung $B'H = \Delta b'$, wenn man $BF = h'$ setzt, nahezu

$$\Delta b' = A h'.$$

Durch das Auftragen der den verschiedenen Dammhöhen entsprechen-

den Verbreiterungen ergibt sich als Begrenzung der Planie eine unregelmässige Kurve, welche man durch gerade Linien auszugleichen pflegt.

Statt dieser Verbreiterungen hat man auch bei Dämmen, welche mehr als etwa 5^m Höhe haben, in einer Tiefe von etwa 1,5 bis $3,5^m$ unter der Planie Bermen von etwa 0,6 bis $0,8^m$ Breite angebracht, um hierdurch Aufhöhungen zu ermöglichen (Fig. 207). Die der Höhe des Dammes entsprechenden Verbreiterungen sind indess vorzuziehen, da sie eine geringere Breite der Dammbasis verlangen.

Die für die Ueberhöhungen und Verbreiterungen bei verschiedenen Bahnen angenommenen Normen sind oft sehr verschieden. Z. B. wurde angenommen bei der Brennerbahn: Erddamm, horizontal: $\Delta b = \frac{1}{8} h$; geneigt: $\Delta b = \frac{1}{8} h + \frac{1}{12} h'$; Steindamm, horizontal: $\Delta b = \frac{1}{20} h$, geneigt: $\Delta b = \frac{1}{30} h + \frac{1}{60} h'$; ferner bei der österr. Nordwestbahn, Salzburg-Tiroler Bahn etc.: Erddamm, wenig geneigt: $\Delta b = \frac{1}{15} (h + h')$; Steindamm, horizontal: $\Delta b = \frac{1}{25} h$; Erddamm mit Steinvorlage für die Vorlage $\Delta' b = \frac{1}{25} h + \frac{1}{50} h'$, für den Erddamm $\Delta b = \Delta' b + \frac{1}{15} h'' + \frac{1}{30} h'''$, wenn h, h'' die Terrainhöhen unter den Kanten der Vorlage und der Planie, h', h''' die Tiefe der unteren Kante der Vorlage unter den unter den oberen Kanten der Vorlage und Erdüberschüttung derselben liegenden Terrainpunkten bezeichnen.

§. 151. Einstürze. Die Einstürze oder Abrutschungen in Aufträgen können aus folgenden Ursachen entstehen:

1. Anwendung zu steiler Böschungen.

2. Anwendung nasser Erde, namentlich Anwendung nassen Lehmes, der nur sehr langsam austrocknet; besonders entstehen bei hohen Dämmen in Folge der grossen Last Quellungen, wenn die unteren Schichten nass sind.

3. Verwendung gefrornen Bodens, welcher sich nicht nur beim Aufthauen in nassen Boden verwandelt, sondern auch grosse Zwischenräume lässt, da er nicht gestampft werden kann.

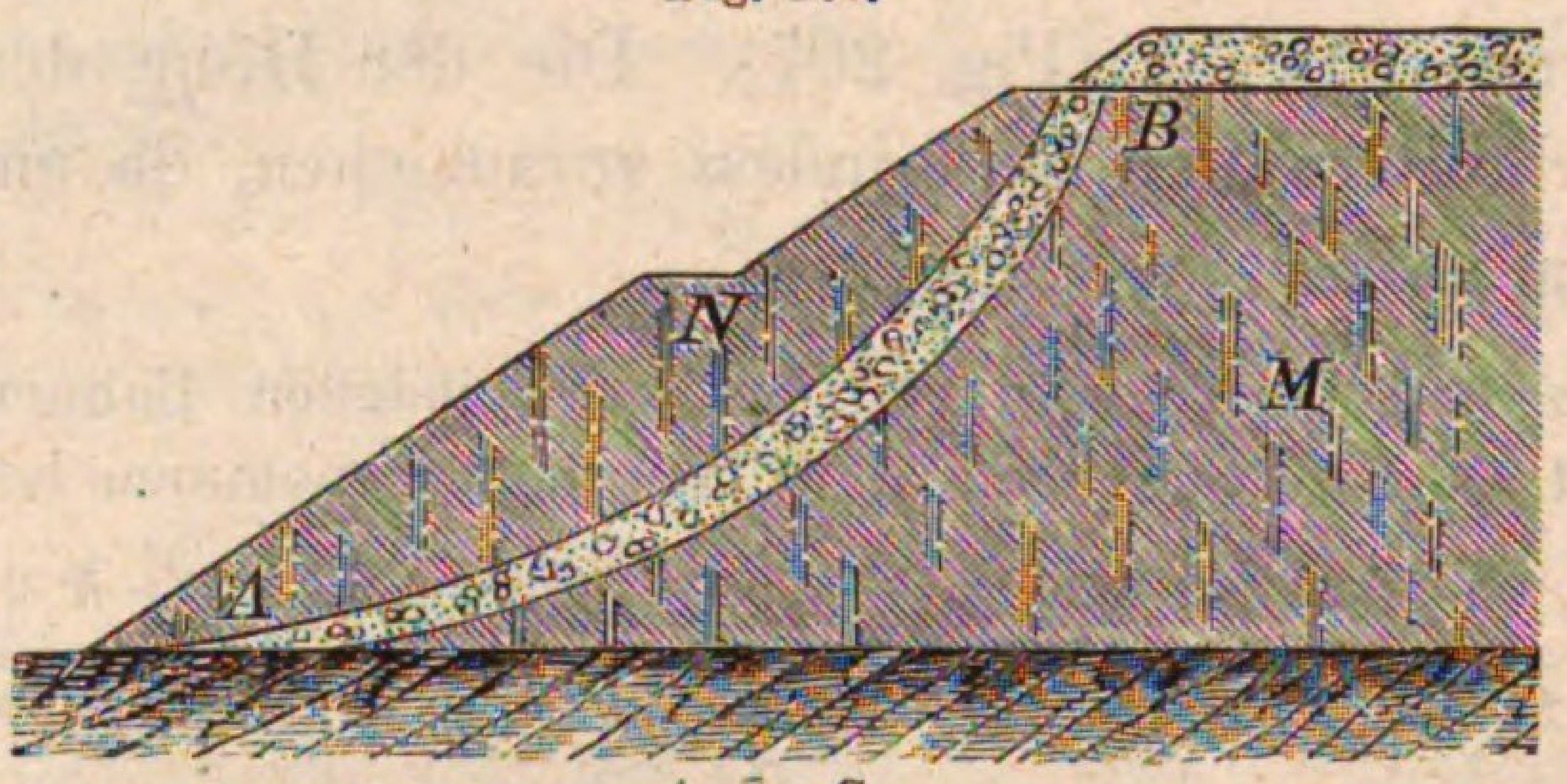
4. Erweichung durch Wasser, insbesondere bei thonigem und lehmigem Boden. Das Regenwasser dringt theils an der Planie, theils auf den Böschungen in den Damm. Namentlich dringen beim Schmelzen des Schnees oft grosse Mengen ein, vorzüglich, wenn man den Schnee unvorsichtigerweise in grossen Mengen auf der Planie anhäuft. Das Wasser kann aber auch von unten aufsteigen, wenn auf nassem Boden geschüttet wurde oder wenn das Wasser vom angrenzenden Terrain unter den Damm läuft. Dass bei Dämmen, welche immer oder zeitweilig von Gewässern berührt werden, Veranlassungen zu Abrutschungen vorhanden sind, braucht kaum erwähnt zu werden.

5. Die Strömung, der Eisstoss und der Wellenschlag bilden an Gewässern eine wesentliche Ursache. Besonders gefährlich ist bei

sonst ruhig strömenden Flüssen der durch Dampfschiffe erzeugte Wellenschlag.

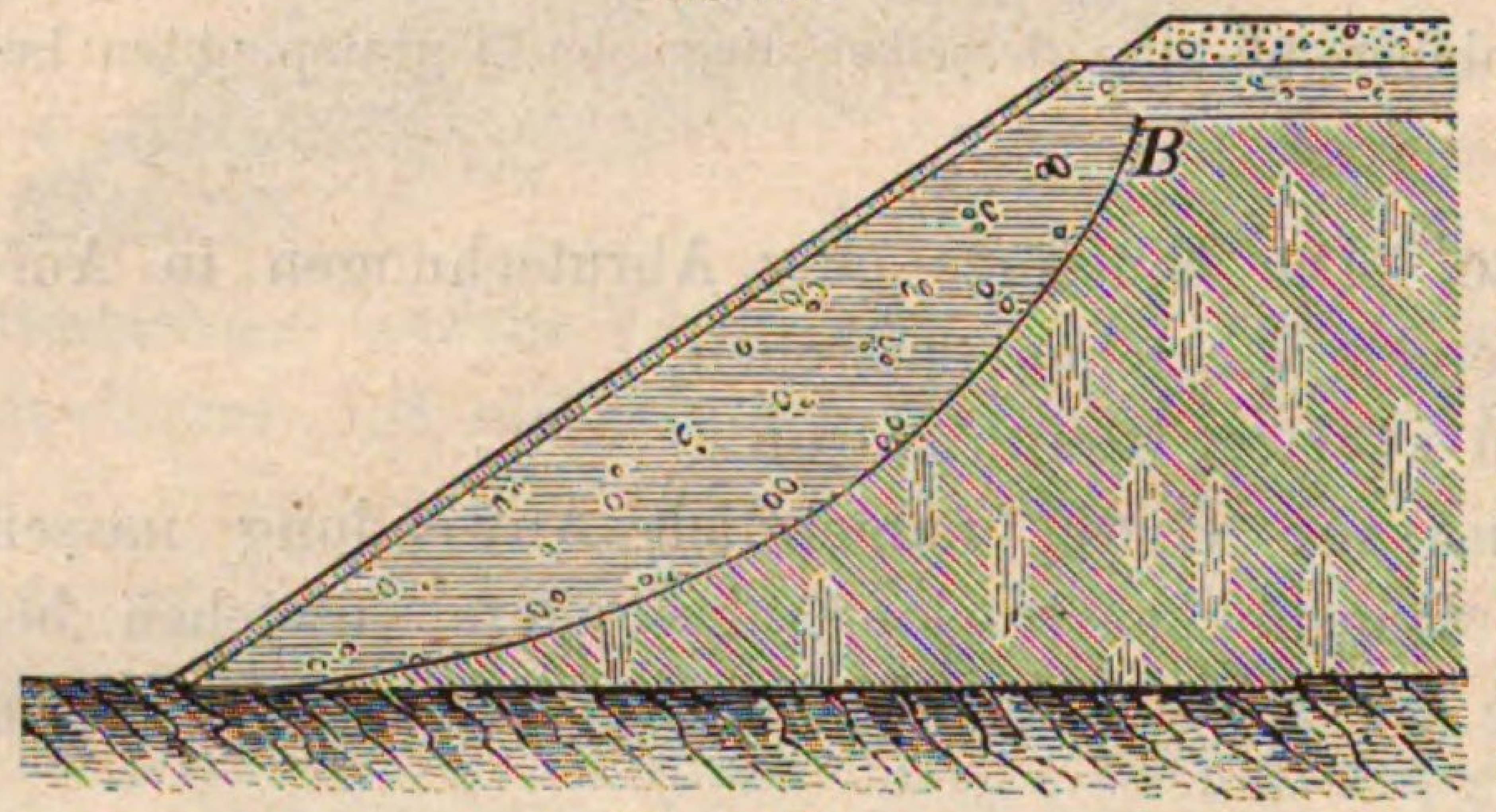
6. Schlechte Anschüttungsweise. Wenn der Damm aus verschiedenen Materialien geschüttet wird, so kann sich z. B. eine geneigte durchlässige Schicht AB (Fig. 207) zwischen Theilen aus thoniger Erde befinden; das Wasser wird in dieser Schicht herabfliessen und eine Glättung der thonigen Masse bewirken, so dass eine Abrutschung eintreten muss. Ebenso kann eine Abrutschung eintreten, wenn die Schicht AB aus nasser oder leicht erweichender Erde, der übrige Theil aus durchlässiger Erde besteht oder wenn der Kern aus thoniger Erde, der äussere Theil aus durchlässiger Erde besteht, ohne dass Abtreppungen vorhanden sind (Fig. 208). Selbst bei gleichem Materiale können Einstürze entstehen, wenn der äussere Theil viel später geschüttet wurde, als der Kern, weil sich alsdann der letztere bereits gesetzt hat, so dass keine innige Verbindung beider Theile eintritt und beim Setzen des äusseren Theiles die Trennungsfläche in eine glatte Rutschfläche übergeht.

Fig. 207.



1/250 n. Gr.

Fig. 208.



1/250 n. Gr.

7. Setzungen können, namentlich bei geneigtem Terrain, zur Bildung von Rissen Anlass geben, welche durch Aufnahme von Wasser Abrutschungen herbeiführen.

§. 152. Verhütung von Abrutschungen. Die Mittel zur Verhütung von Abrutschungen bestehen hauptsächlich in der Vermeidung aller Umstände, welche eben die Abrutschung veranlassen, sowie in künstlichen Stützungen. Die nicht schon bei den Böschungen im Allgemeinen angegebenen Mittel (Bedeckungen) sind:

1. Vermeidung der Anwendung nasser Erde. Ist nur nasse Erde zur Bildung der Aufträge vorhanden, so muss diese entweder ausgetrocknet werden, oder falls hierzu nicht die Zeit vorhanden ist, nur

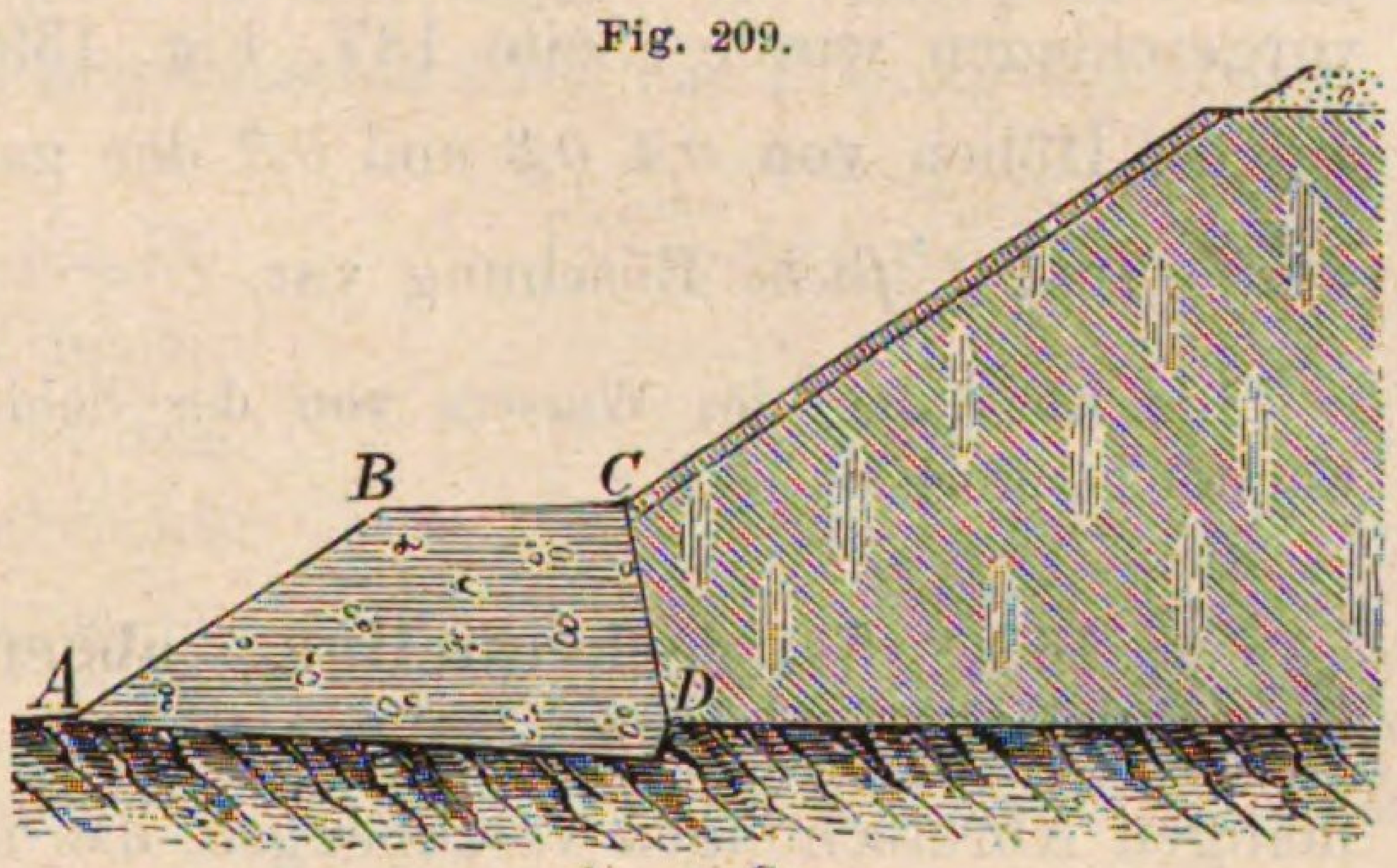
für den mittleren Theil in Anwendung kommen und dafür gesorgt werden, dass das Wasser schnell abfliessen kann.

2. Vermeidung der Anwendung thoniger und lehmiger Erde. Unter Umständen wird man wohlthun, die in den Einschnitten gewonnene thonige und lehmige Erde seitlich abzulagern und die Aufträge aus Seitenentnahmen zu bilden, falls hierdurch eine geeignetere Erde gewonnen wird. Oft aber bleibt doch nichts übrig, als die in den Einschnitten gewonnene Erde, sei sie auch nicht geeignet, zu verwenden.

3. Zweckmässige Anschüttungsweise, namentlich Verhütung der Bildung geneigter Lagen von verschiedenem Material und Schüttung auf geneigten Flächen von Material, welches sich bereits gesetzt hat.

4. Entwässerung der Planie, worauf umsomehr Bedacht zu nehmen ist, je mehr der Boden zu Abrutschungen geneigt ist. Wir haben hierüber bereits im Abschnitte „Oberbau", Kapitel „Bettung" gesprochen und verweisen auf das dort Gesagte.

Fig. 209.



$^1/_{250}$ n. Gr.

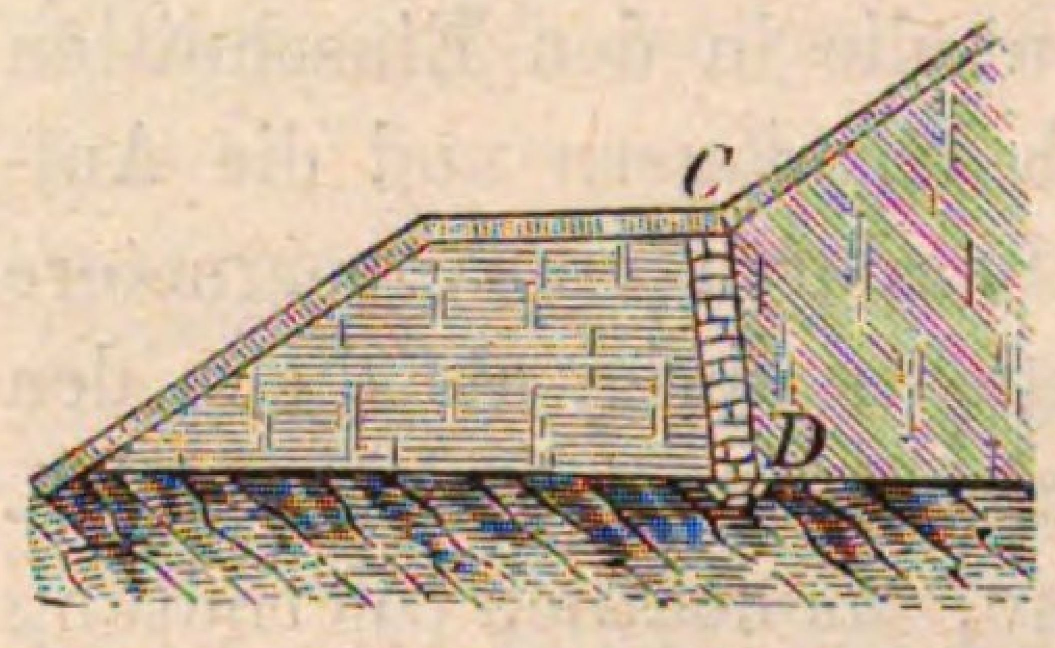
5. Gegenbanketts. Wenn die Austrocknung der Erde nicht vorgenommen werden kann oder überhaupt eine sehr zu Abrutschungen geneigte Erde verwendet werden muss, so kann man ein Abrutschen durch eine Stützung verhüten. Dieselbe besteht in der Anordnung eines sogen. Gegenbankettes (franz. *le contrefort*, engl. *the counterfort*) oder einer Vorlage aus gestampfter Erde oder Steinmaterial (Fig. 209 und 210).

Die Wirkungsweise des Gegenbanketts kann eine doppelte sein. Ist der untere Theil des Dammmateriales knetbar, was bei thonigem Boden oft vorkommt, so wird dem Herausquellen durch den darüber lastenden Druck durch das Gegenbankett ein direkter Widerstand entgegengesetzt. Ist das ganze Dammmaterial von gleicher Beschaffenheit, so wirkt das Bankett, indem es die Höhe der Böschung des zur Rutschung geneigten Materiales vermindert. Nach dem Früheren (§. 122) hat aber die Verminderung der Höhe nur dann einen Einfluss, wenn beim Abrutschen Kohäsion zu überwinden ist; so wird z. B. bei trocknem, lockerem Sande ein Gegenbankett ohne Wirkung sein.

Man muss zum Gegenbankette natürlich möglichst trockene Erde verwenden; ist dieselbe nicht ganz durchlässig, so legt man zwischen dem Bankette und dem Damme eine Trockenmauer oder eine Wand von Kies- oder Steinfaschinen an, welche unten in einem Gräbchen ruht,

um das Wasser aus dem Innern des Dammes möglichst gut abzuführen und nicht in das Bankett gelangen zu lassen (Fig. 210). Dass Steinmaterial, wenn solches zufällig vorhanden ist, das beste Material zu den Gegenbanketts ist, ist wohl selbstverständlich, weil es schwerer als Erde ist und vom Wasser nicht erweicht wird. Der Widerstand gegen Verschieben wird erhöht, wenn man der Sohle des Banketts eine Neigung nach innen gibt (Fig. 209).

Fig. 210.



Der französische Ingenieur Bruère, welcher diese Banketts besonders empfiehlt, gibt im Mittel als mittlere Höhe $\frac{1}{3}$ und als untere Breite $\frac{2}{3}$ der Höhe des Dammes an.

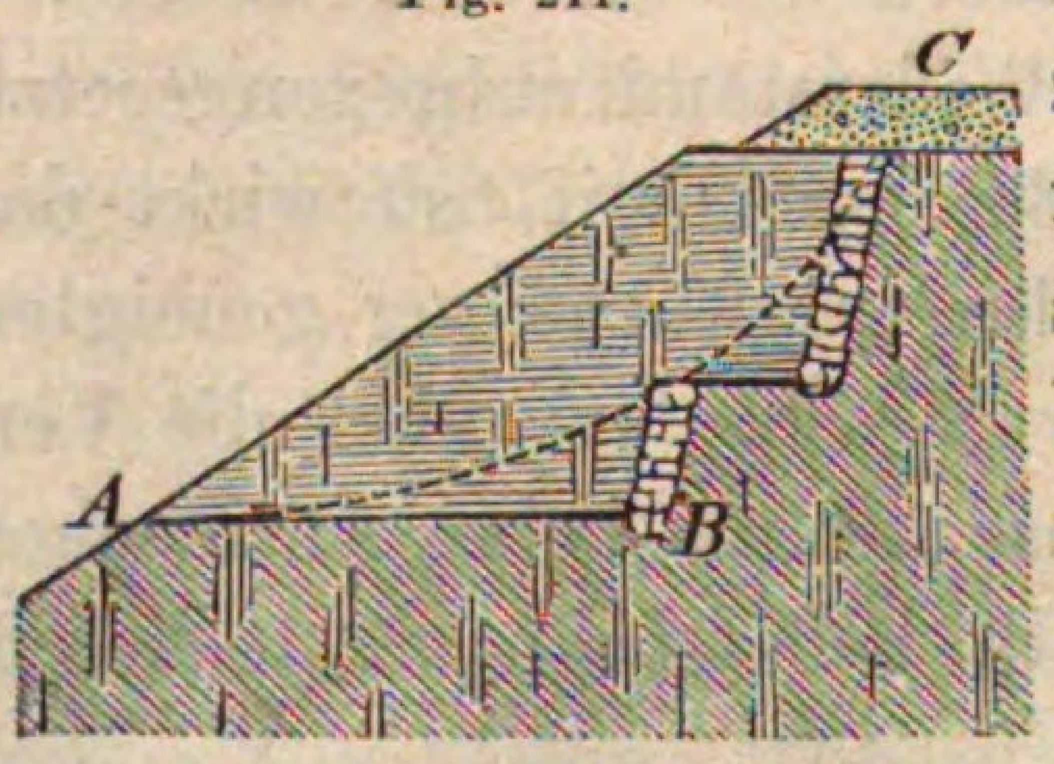
6. Form der Böschungen. Ingenieur Lorenz schlägt vor, den Dämmen aus schlechtem Materiale (nasses, lehmiges Material) eine Form zu geben, wie sie bereits von Gerstner für Einschnitte in Lehmboden vorgeschlagen wurde (Seite 187, Fig. 139); er schlägt von oben herab auf die Höhen von *0,4 0,3* und *0,3* der ganzen Dammhöhe eine $1\frac{1}{2}$*fache*, *4fache* und $1\frac{1}{4}$*fache* Böschung vor.

Die Abhaltung des Wassers von der Sohle des Dammes wird im nächsten Kapitel besprochen.

§. 153. Wiederherstellung abgerutschter Dämme. Bei der Wiederherstelluug abgerutschter Dämme muss vorzüglich, um abermaligen Abrutschungen vorzubeugen, das nachgeholt werden, was vorher versäumt wurde, nämlich je nach Umständen die Anlage einer flacheren Böschung, einer Entwässerung, eines Gegenbankettes oder das Abtreppen des Kernes.

1. Bei kleinen Abrutschungen in der Nähe der Planie (Fig. 211) lässt sich eine flachere Böschung nicht gut anwenden. Hier wird man für die wiederaufzubringende Erde eine horizontale Basis AB bilden und, wenn die Erde nass war, ein Filter BC aus Steinen oder Faschinen anlegen und nun die wieder aufzubringende abgerutschte oder nach Befinden neue Erde gut stampfen.

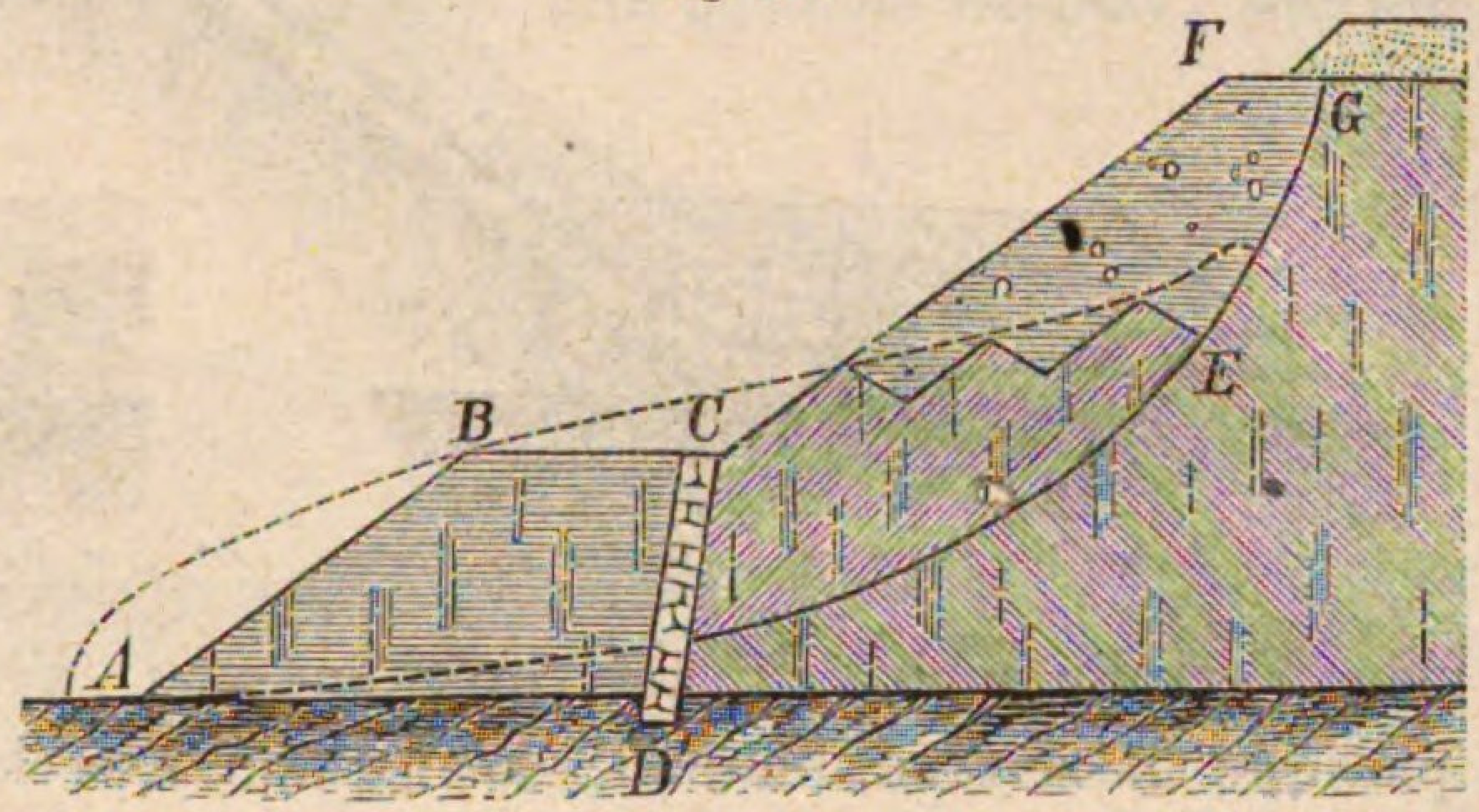
Fig. 211.



2. Bei grösseren Abrutschungen ist es meist das räthlichste, ein Gegenbankett $ABCD$ zu bilden und dieses vom übrigen Theile durch ein Filter aus Steinen oder Steinfaschinen zu trennen (Fig. 212 und 213). Natürlich muss hierzu die abgerutschte Masse bis zu CD beseitigt werden, was allerdings nur auf kurze Strecken möglich ist, damit der Theil CDE nicht nachrutscht.

Fig. 214 stellt den Vorgang dar; *B* und *C* stellen die in *A* und *D* weggenommene Erdmasse, *E* ein fertiges Stück des Gegenbankettes dar. Das Gegenbankett wird gut gestampft. Die Fläche *CE* (Fig. 212) wird abgetreppt und zur Bildung des fehlenden Theiles *CEGF* neue Erde aufgebracht. Ist diese nicht durchlässig, so ist es zweckmässig, sie vom stehengebliebenen Kerne durch ein Filter zu trennen. Ist die zu Gebote stehende neue Erde durchlässig und schwer, so wird man aus ihr das Gegenbankett bilden (Fig. 213) und die abgerutschte Erde *ABCD* wieder oben aufbringen. Im entgegengesetzten Falle aber kann man auch die abgerutschte Erde zur Bildung des Gegenbanketts verwenden.

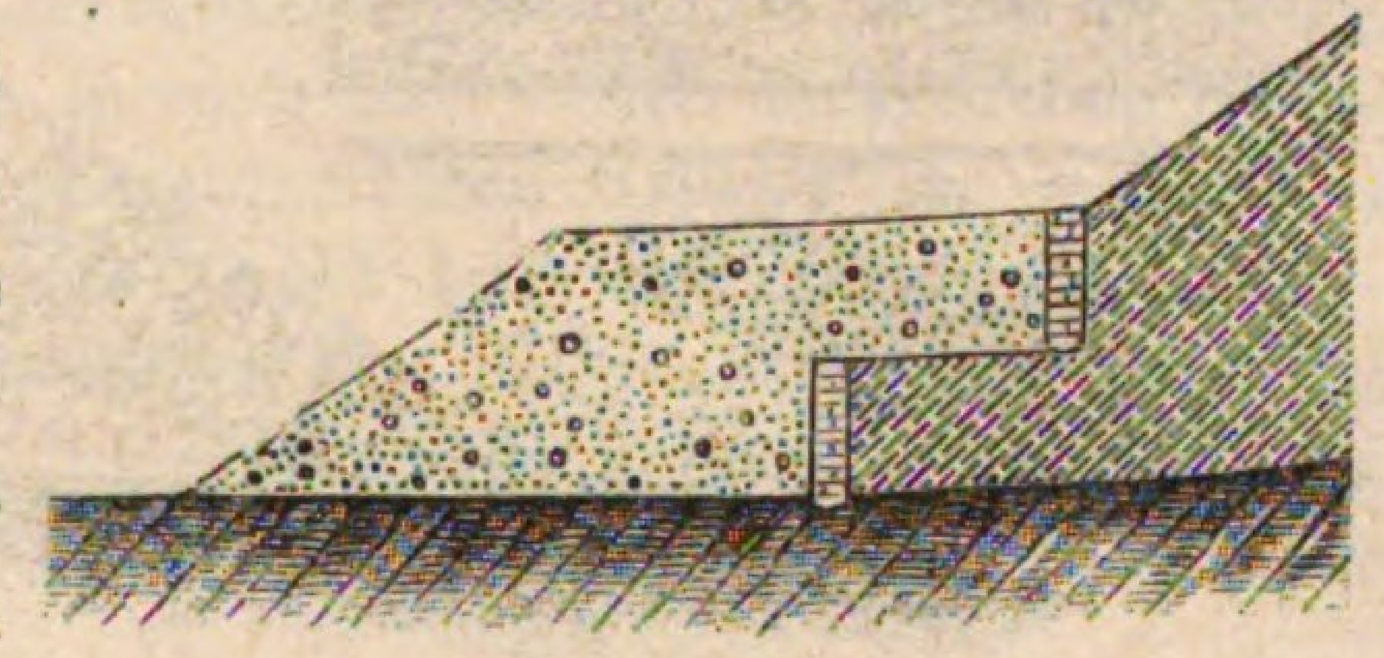
Fig. 212.



1/250 n. Gr.

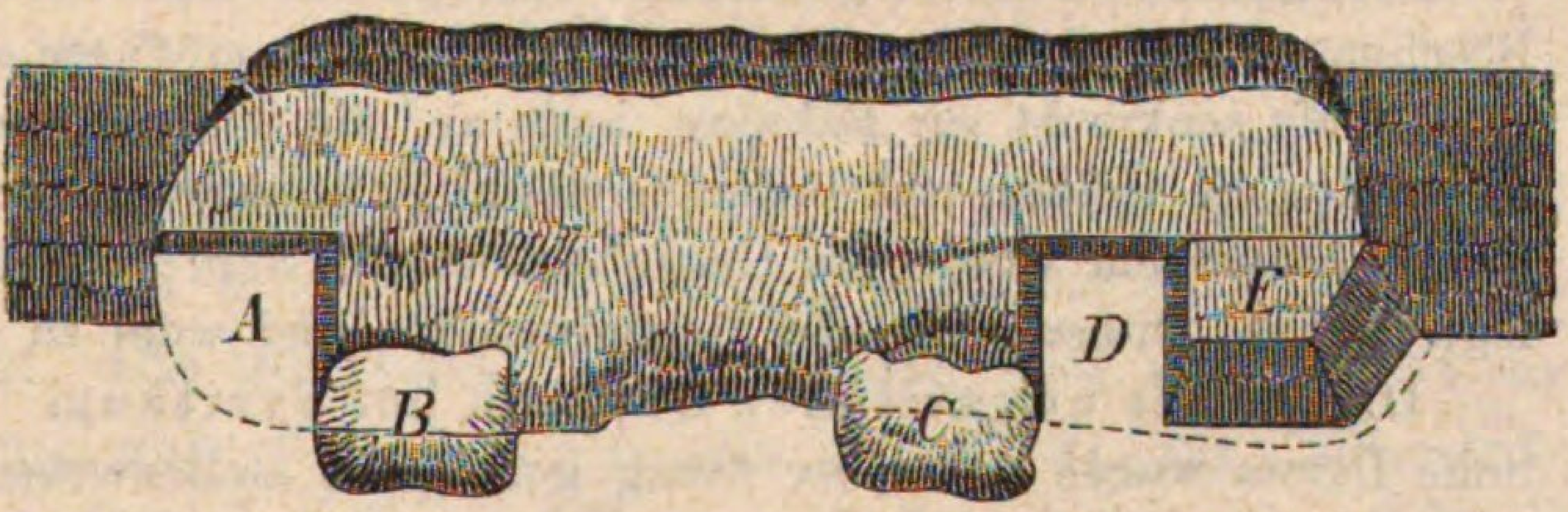
3. Man stellt wohl auch die Böschung ohne Gegenbankett mit neuem Materiale flacher her; jedoch ist dies, wenn nicht das neue aufgebrachte Material eine flachere Böschung bedingen sollte, nicht nöthig. Jedenfalls erspart man bei Anwendung von Gegenbanketten an Material.

Fig. 213.



4. Grosser Werth wird meist auf eine gute Entwässerung im Innern des Dammes zu legen sein. Statt der vorhin zu diesem Zwecke bezeichneten Filter legt man auch Querdräns an, und zwar aus Dränröhren, besser aber aus Kiesfaschinen (Fig. 215), weil diese den etwaigen Verschiebungen am besten nachgeben. In einzelnen Fällen hat man zur bergmännischen Entwässerung greifen müssen (Fig. 217).

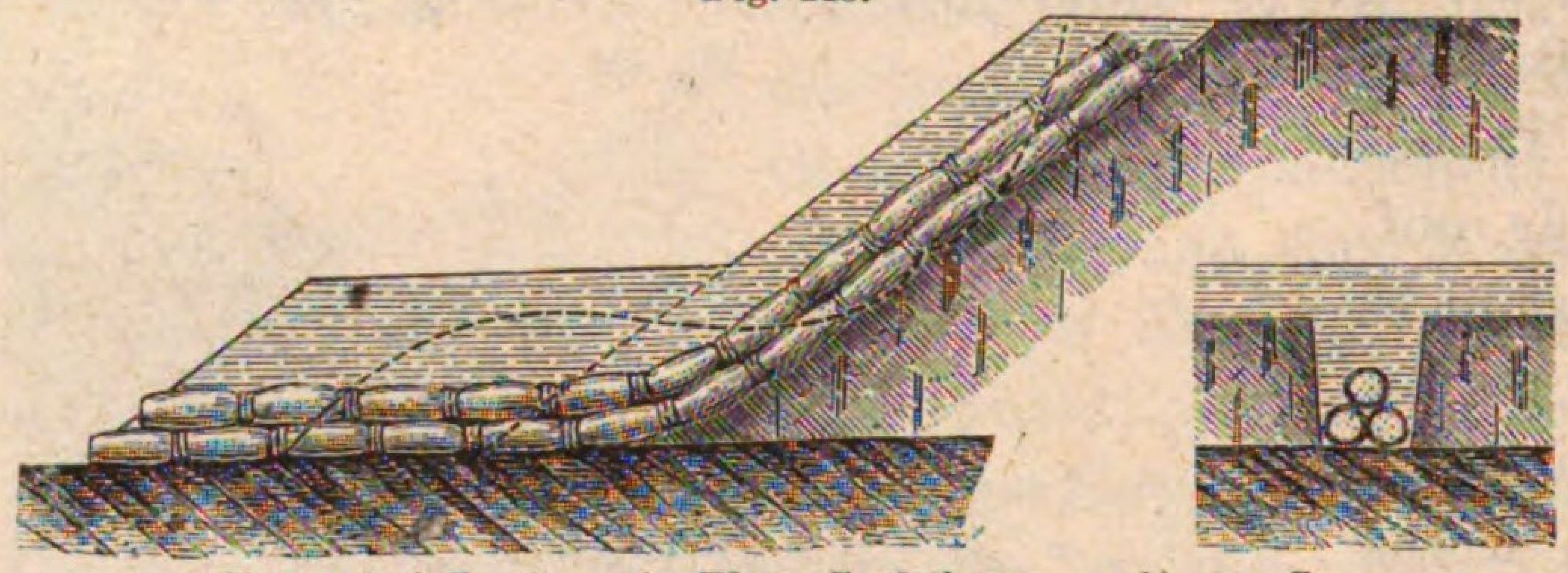
Fig. 214.



5. Die im vorigen Kapitel ausführlicher besprochenen Steinpfeiler sind auch bei Dämmen in Anwendung gekommen (Fig. 216), jedoch viel weniger häufig, als für Einschnitte. Der Grund hiervon liegt wohl darin, dass man die Steinpfeiler mit ihrer rückweitigen Fläche gern

auf festen Boden legt, der bei Dämmen weniger zu erwarten ist, und dass hier Gegenbanketts, die bei Einschnitten der Beschränkung durch die Bahnplanie halber weniger leicht anwendbar sind, billiger zu stehen kommen.

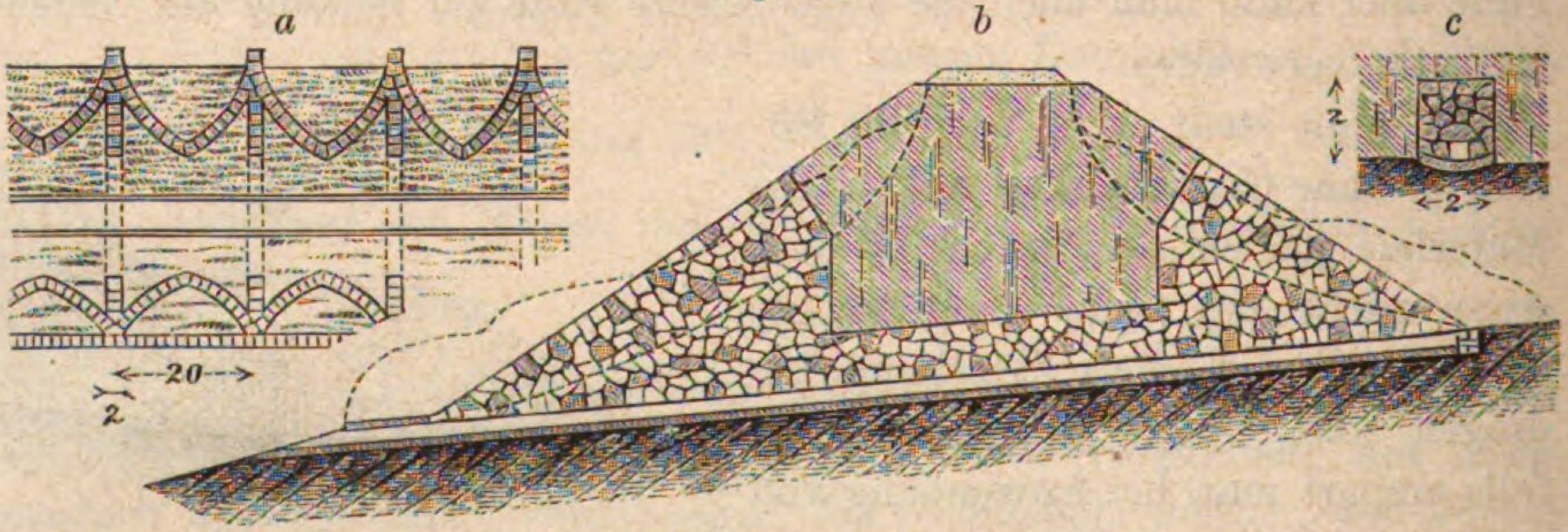
Fig. 215.



Damm bei Saarburg in Elsass-Lothringen. — $^1/_{200}$ n. Gr.

6. Während der Wiederherstellung des Dammes pflegt man, um den Verkehr nicht zu unterbrechen oder wenigstens leichtere Wagen passiren lassen zu können, sowie zum Zwecke der Materialzufuhr, das Gleis auf ein Holzgerüst zu legen, dessen Pfähle in den stehen gebliebenen Theil des Dammes eingerammt werden. (Weiteres hierüber im „Brückenbau").

Fig. 216.



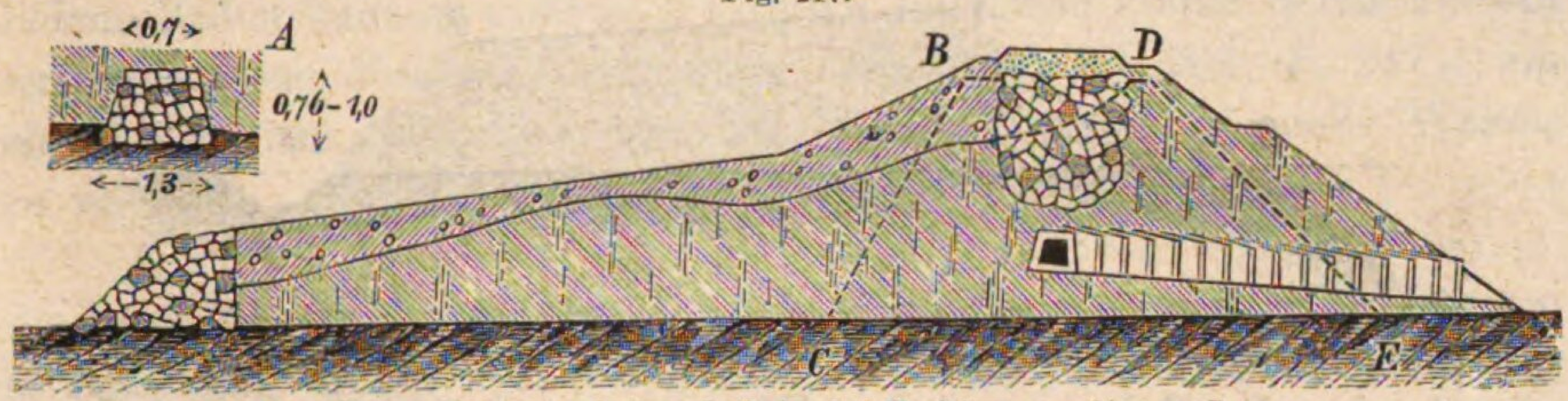
Paris-Lyoner-Mittelmeerbahn. — $^1/_{2000}$ u. $^1/_{500}$ n. Gr.

Beispiele. Damm bei Saarburg in Elsass-Lothringen (Fig. 215). Der Damm welcher eine mittlere Höhe von *4 Met.* hatte, wurde aus gefrornem Thone auf einer sehr feuchten Wiese geschüttet. Einige Zeit nach der Eröffnung rutschten die Böschungen ab. Zum Zwecke der Rekonstruktion eröffnete man Gräben von *1 bis 2 Met.* Tiefe senkrecht zur Bahnaxe, legte auf die Sohle derselben drei Kiesfaschinen und füllte die Gräben und bedeckte die abgerutschten Böschungen mit gestampfter Erde. Ausserdem wurde ein Gegenbankett von *3 Met.* Breite, *2 Met.* Höhe angelegt. (Diese Dimensionen des Gegenbanketts sind wohl zu gross.)

Damm der ungarischen Ostbahn bei Freithum. (Fig. 217). Der *4 Met.* hohe Damm wurde auf einer wenig geneigten, stellenweise versumpften Hutweide aus zwei anstossenden Einschnitten geschüttet. Der sumpfige Theil des Untergrundes wurde mit einem Sickerungsnetze aus Steinprismen versehen. Das Material des einen Einschnittes war hauptsächlich nasser gelber Lehm, das des anderen trockner harter Mergel. Man hoffte, dass die gleichzeitige Anwendung beider Materialien keinen Anlass zu Rutschungen bieten würde. Dennoch entstand, als der Damm noch nicht vollendet war, eine bedeutende Rutschung nach dem sehr regnerischen Sommer 1871, indem sich der Damm in der Krone auf eine Länge von *50 bis 60*^{m} trennte und das aufgeweichte Material thalabwärts floss. Es zeigte sich, dass nur

derjenige Theil abgerutscht war, welcher aus dem nassen Lehme geschüttet war. Trotzdem, dass die Verwendung dieses Materials eingestellt und nur das trockne Material des anderen Einschnittes verwendet wurde, konnte man der Bewegung nicht Einhalt thun. Sickerschlitze, mit welchen das rutschende Material zum Zwecke der Austrocknung durchschnitten wurde, zeigten kein günstiges Resultat. Man ent-

Fig. 217.



Damm der ungarischen Ostbahn bei Freithum. — $^1/_{750}$ n. Gr.

schloss sich daher, die Vollendung des Dammes mit Steingerölle zu bewirken und ein Gegenbankett aus Steinmaterial auszuführen. Die Rutschmasse wurde sodann mit trocknem Materiale überschüttet. Zur Entwässerung des in den Damm eingekeilten Steinprismas wurde von der Seite ein Stollen bis unter den Steinkörper getrieben und derselbe in Richtung der Axe nach beiden Seiten ausgeästet.

Damm der Bötzbergbahn bei Frick in der Schweiz. Im Innern des Dammes bildeten sich an verschiedenen Stellen Rutschflächen. Die thalaufwärts gerichteten Rutschungen konnten durch Gegenbanketts, welchen theilweise durch 4^m hohe, oben 3^m, unten 12^m breite, in den gewachsenen Boden eingreifende Steinpfeiler mehr Halt gegeben wurde, bewältigt werden. Die thalabwärts gerichteten Rutschungen erforderten umfassendere Arbeiten. Auch hier wurden trockene Gegenbanketts vorgelegt, welche man durch Faschinen und Steinpackungen vollständig isolirte. Im oberen Theile des Dammes wurde, theilweise mittels Anbringen von Schlitzen, eine sehr starke Faschinenlage aus grossen Bäumen sammt Aesten quer durchgelegt.

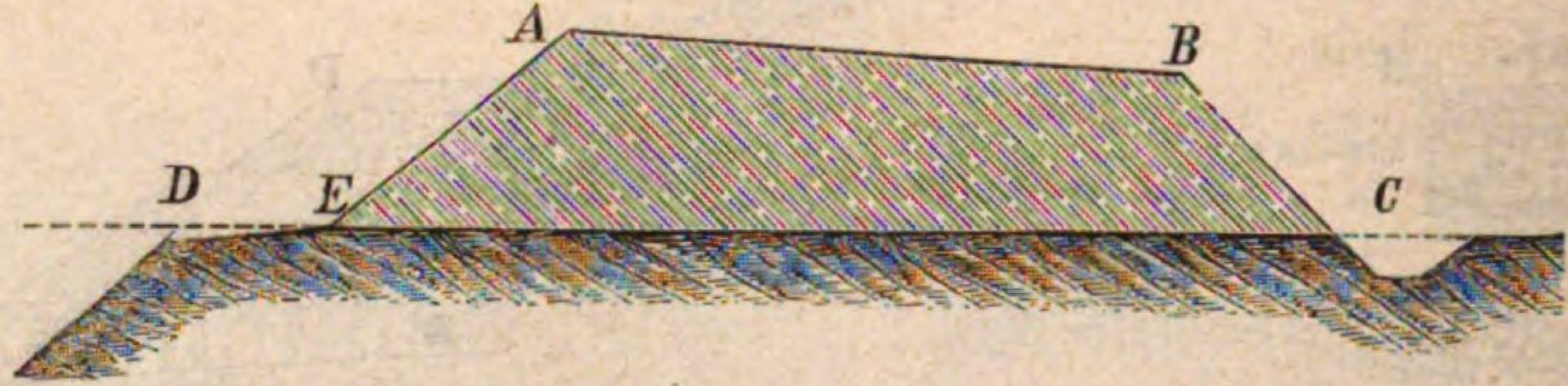
Paris-Lyoner-Mittelmehrbahn. Das in §. 135 hinsichtlich der Behandlung der Einschnittsabrutschungen Gesagte gilt im Allgemeinen auch für Dämme. Hier fundirt man die Steinpfeiler auf dem gewachsenen Boden. Fig. 216 zeigt einen Fall, in welchem gleichzeitig Abrutschungen an beiden Böschungen eingetreten sind. Die gegenüberliegenden Steinpfeiler sind hier mittels eines Stollens durch einen 2^m hohen Steinsatz verbunden.

§. 154. Seitenablagerung. Hinsichtlich der Seitenablagerungen, Seitendeponien (franz. *le depot, le cavellier*, engl. *the spoil bank*) ist nur wenig zu sagen. Die günstigsten Dimensionen sind nach §. 94 zu bestimmen; Bormann gab für dieselben die in §. 141 für Seitenentnahmen angegebene Regel. Bei haltbarem Boden kann die Seitenablagerung dicht an den Einschnitt grenzen; bei Rutschterrain kann eine grössere Entfernung vom Einschnitte nothwendig werden. Wenn die Seitenablagerungen auch gleichzeitig zum Schutze gegen Schneeverwehungen dienen sollen, so sind weitere Regeln zu beachten, welche bei der „Sicherung gegen Schnee“ besprochen werden.

In einzelnen Fällen hat man die Ablagerung in der Weise bewirkt,

dass eine Bebauung derselben möglich ist; hierzu wird es meist nöthig, die Ackererde vorher abzuheben und nachträglich wieder aufzubringen. Unter Umständen lässt sich hierdurch die Ertragsfähigkeit verbessern, insbesondere bei sumpfigem Boden.

Fig. 218.



Die Böschungen der Seitenablagerungen kann man meist steiler, als die der die Bahn tragenden Dämme, meist $1\frac{1}{4}$*fach*, selbst *1fach*, halten.

Der oberen Fläche *AB* (Fig. 218) gibt man meistentheils eine sanfte Neigung von etwa $\frac{1}{15}$ nach rückwärts; das nach rückwärts ablaufende Wasser führt man alsdann durch einen hinter der Seitenablagerung ausgehobenen Graben *C* ab.

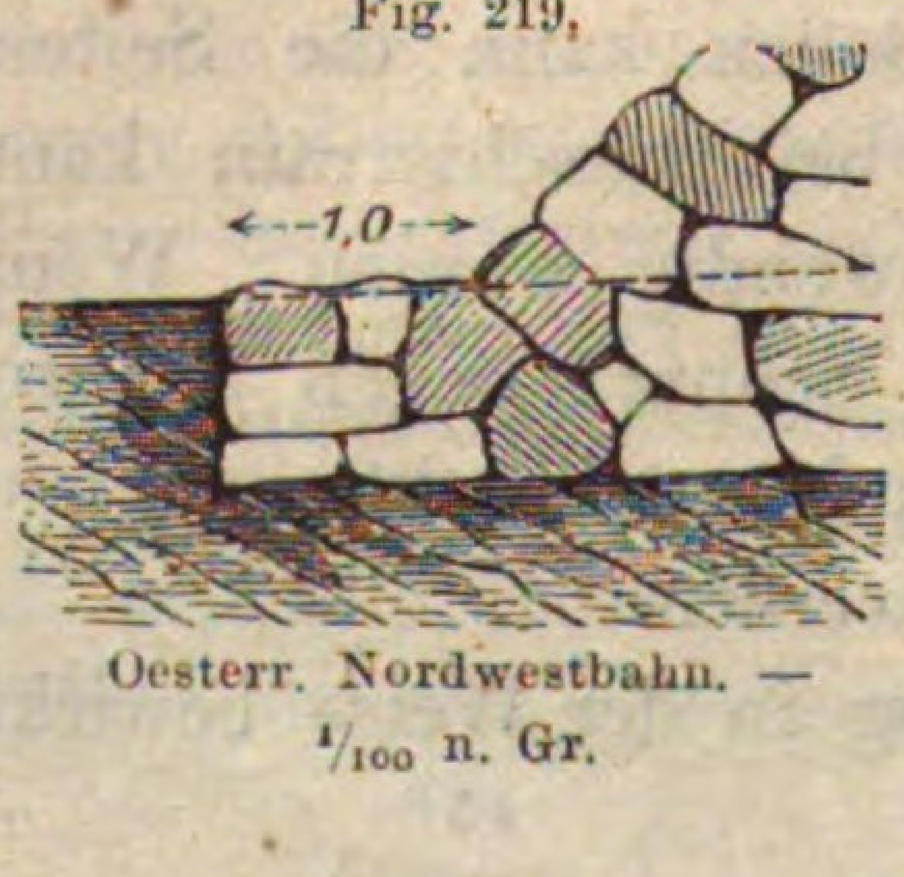
XIV. Kapitel.

Gründung der Dämme.

§. 155. Allgemeines. Unter Gründung oder Fundirung (franz. *la fondation*, engl. *the foundation*) der Aufträge verstehen wir alle jene Anlagen, welche durch den Untergrund in Betreff seiner Form und seiner Materialbeschaffenheit bedingt sind.

Vor dem Aufbringen des Bodens wird der Grund oft vom Rasen befreit, weil sich der Rasen häufig zum Bedecken der Böschungen verwenden lässt. Ist derselbe hierzu nicht tauglich, so ist das Abstechen des Rasens nicht nöthig. Je nach Bedarf kann es zweckmässig sein, nur einen Theil des Rasens abzustechen. Ebenso wird der Boden häufig von den Wurzeln der Bäume befreit, weil durch das Verrotten der Wurzeln ein Setzen des Dammes entsteht und durch das Ausroden in holzarmen Gegenden ein Erträgniss erzielt wird. Die Löcher sind gut mit Erde auszustampfen, weil sonst ein ungleichmässiges Setzen eintreten würde. Bei sehr festem Boden und bei hohen Dämmen kann indess das Ausroden erspart werden.

Fig. 219.



Oesterr. Nordwestbahn. — $^1/_{100}$ n. Gr.

Bei horizontalem oder wenig geneigtem

Terrain und bei festem, trockenem Boden sind besondere Gründungsanlagen nicht nöthig. Nur bei Steindämmen ist es räthlich, den Fuss der Böschungen auf *0,6 bis 1,0 Meter* Tiefe senkrecht zur Böschung in das Terrain einzuschneiden (Fig. 179, S. 207). Die ganze Sohle in das Terrain einzulassen (Fig. 219), ist im Allgemeinen unnöthig. Bei leicht beweglichem Boden kann es wohl auch räthlich sein, eine kleine in das Terrain eingeschnittene Vorlage anzuordnen (Fig. 201 und 202, S. 217), um ein Wegspülen durch das von der Böschung herabströmende Wasser zu verhüten.

§. 156. Deformationen. Die Deformationen, welchen die Dämme in Beziehung auf die Gründung ausgesetzt sind, bestehen in einem Abrutschen des ganzen Dammes oder eines Theiles desselben und in einem Einsinken des Dammes. Die Ursachen dieser Deformationen sind:

1. Starke Neigung des Terrains. Ist vollkommene Trockenheit vorhanden, so kann die Neigung schon bedeutend sein (bis zu etwa zweifacher Anlage), ehe ein Abrutschen eintreten kann. Wird aber durch Wasser das Aufschüttungsmaterial oder das Terrain selbst erweicht oder schlüpfrig gemacht, so können schon bei geringen Neigungen Abrutschungen eintreten. Es kann hier entweder der ganze Damm oder nur ein Theil desselben in Bewegung gerathen.

2. Nasses Terrain kann selbst bei horizontaler Lage dadurch Veranlassung zu Abrutschungen der Dammböschungen geben, dass das Wasser aufsteigt und das Anschüttungsmaterial erweicht, was bereits in §. 151. erwähnt wurde. Um so mehr aber ist bei geneigtem Terrain eine Abrutschung des ganzen Dammes oder eines Theiles desselben zu befürchten.

3. Wasserführende geneigte Schichten. Wenn eine Erdschicht auf undurchlässigem Materiale mit geneigter Oberfläche ruht, also z. B. eine Sandschicht auf Thon, eine Lehmschicht auf Thon oder Felsen u. s. w., so kann die obere Schicht nebst dem darauf ruhenden Damme in Folge des vergrösserten Gewichtes abrutschen, wenn auf der geneigten Fläche des undurchlässigen Materiales Wasser abläuft. Das Abrutschen wird entweder dadurch veranlasst, dass die Oberfläche des undurchlässigen Thonbodens schlüpfrig wird oder dass durch das Wasser in den unteren Parthieen der oberen Schicht die Reibung und Kohäsion vermindert wird.

Ob ein Abrutschen eintritt, hängt von der Wassermenge, der Neigung, der Festigkeit und Stärke der oberen Schicht, sowie von der Grösse der Belastung durch den Damm ab. Die obere Schicht muss bei einem Abrutschen oberhalb des Dammes zerrissen und unterhalb des Dammes irgendwie durchbrochen werden; ist die Schicht dick oder fest,

so kann sie wohl diesen Beanspruchungen widerstehen. Am leichtesten tritt ein Abrutschen ein, wenn die obere Schicht selbst mehr oder minder durchweicht ist. Gewöhnlich wird diese Schicht zunächst komprimirt; alsdann aber trennt sich der unter dem Damme liegende Theil dieser Schicht von dem oberhalb des Dammes liegenden Theile los, während die unterhalb des Dammes liegenden Parthieen der Schicht sich nach unten bewegen, zusammenstauchen, verquetschen, sich übereinander verschieben und oft zu einem wilden Gewirre anhäufen (Fig. 235). Zuweilen gleitet die obere Schicht mit dem ganzen Damme ab; meist aber spaltet der Damm und es gleitet nur der untere Theil desselben mit der unter ihm liegenden Schicht ab (Fig. 234). In manchen Fällen mögen auch durch das Komprimiren der oberen Schicht die unterirdischen Wasseradern gesperrt werden, wodurch sich das Wasser unter dem Damme und oberhalb desselben anstaut, so dass durch die immer grösser werdende Wassermenge der ganze Boden durchweicht wird.

Diese Art von Dammrutschungen ist die gewöhnlichste, aber auch gefährlichste.

4. Weiche horizontale Schichten. Wenn sich direkt unter dem Damme oder in mehr oder minder grosser Tiefe eine weiche, ganz oder nahezu horizontale Schicht befindet, so wird dieselbe zunächst komprimirt, der Damm sinkt also ein. Hierbei weichen die unter dem Damme liegenden breiigen Massen zur Seite aus und pressen die seitlich vom Damme liegenden Massen zusammen, wodurch sich die Oberfläche derselben oft nach oben erhebt. Bei der seitlichen Verschiebuug kann sich auch der Damm selbst verbreitern. Vor Allem gehört hierher der Moorboden; aber auch vollständig erweichter Thon- und Lehmboden, Triebsand, sowie der Schlamm oder Schlick in Flüssen, namentlich aber in Seen.

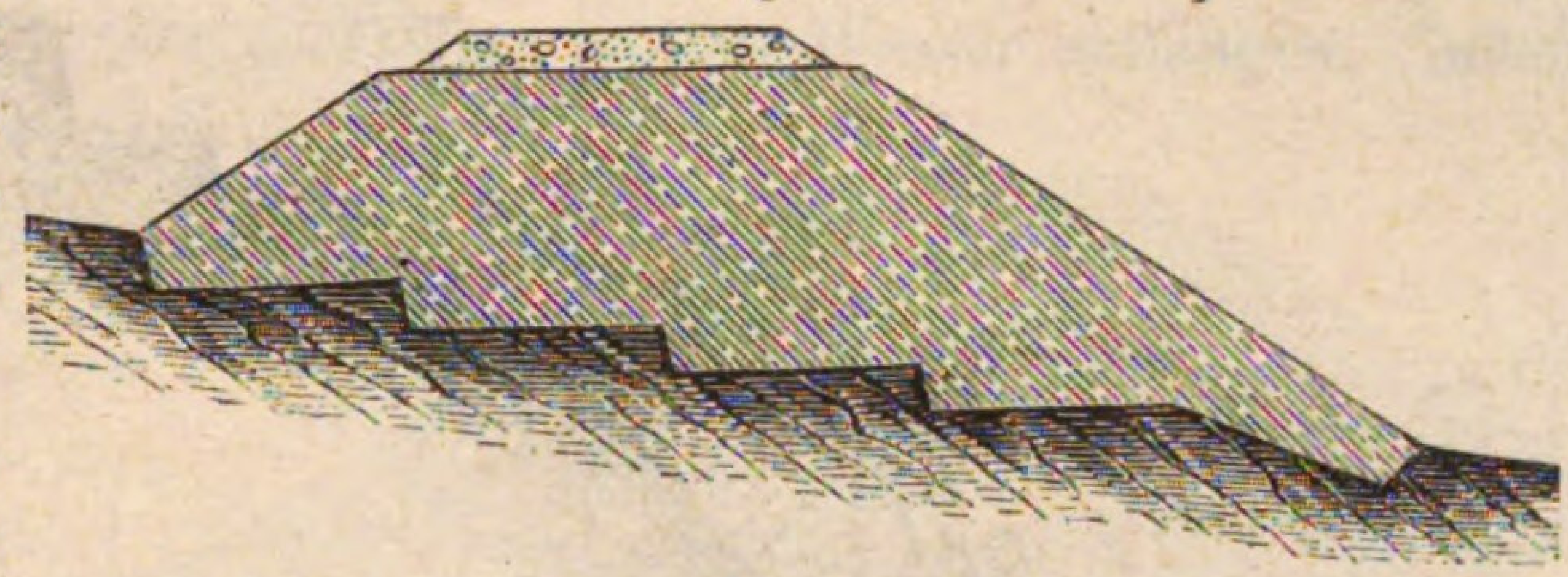
Befindet sich über der weichen Schicht eine feste Schicht, so hängt es hauptsächlich von der Dicke dieser Schicht und der Grösse der Belastung durch den Damm ab, ob und in welchem Maasse ein Einsinken stattfindet.

Die Mittel zur Verhütung dieser Deformationen wurden bereits in §. 119 angedeutet und sollen im Folgenden noch etwas näher besprochen werden.

§. 157. Gründung auf geneigtem Terrain. Bei zu starker Neigung des Terrains pflegt man dasselbe in der in Fig. 220 gezeigten Weise abzutreppen oder in der in Fig. 221 gezeigten Weise zu verzahnen. Bei der Abtreppung gibt man den Bermen eine kleine Neigung von etwa $\frac{1}{30}$ bis $\frac{1}{15}$ nach abwärts, um das Wasser abzuleiten. Bei der Verzahnung ist es zweckmässig, den einzelnen Gräben oder Einschnitten ein Längsgefälle zu geben und an den tiefsten Punkten Querdräns an-

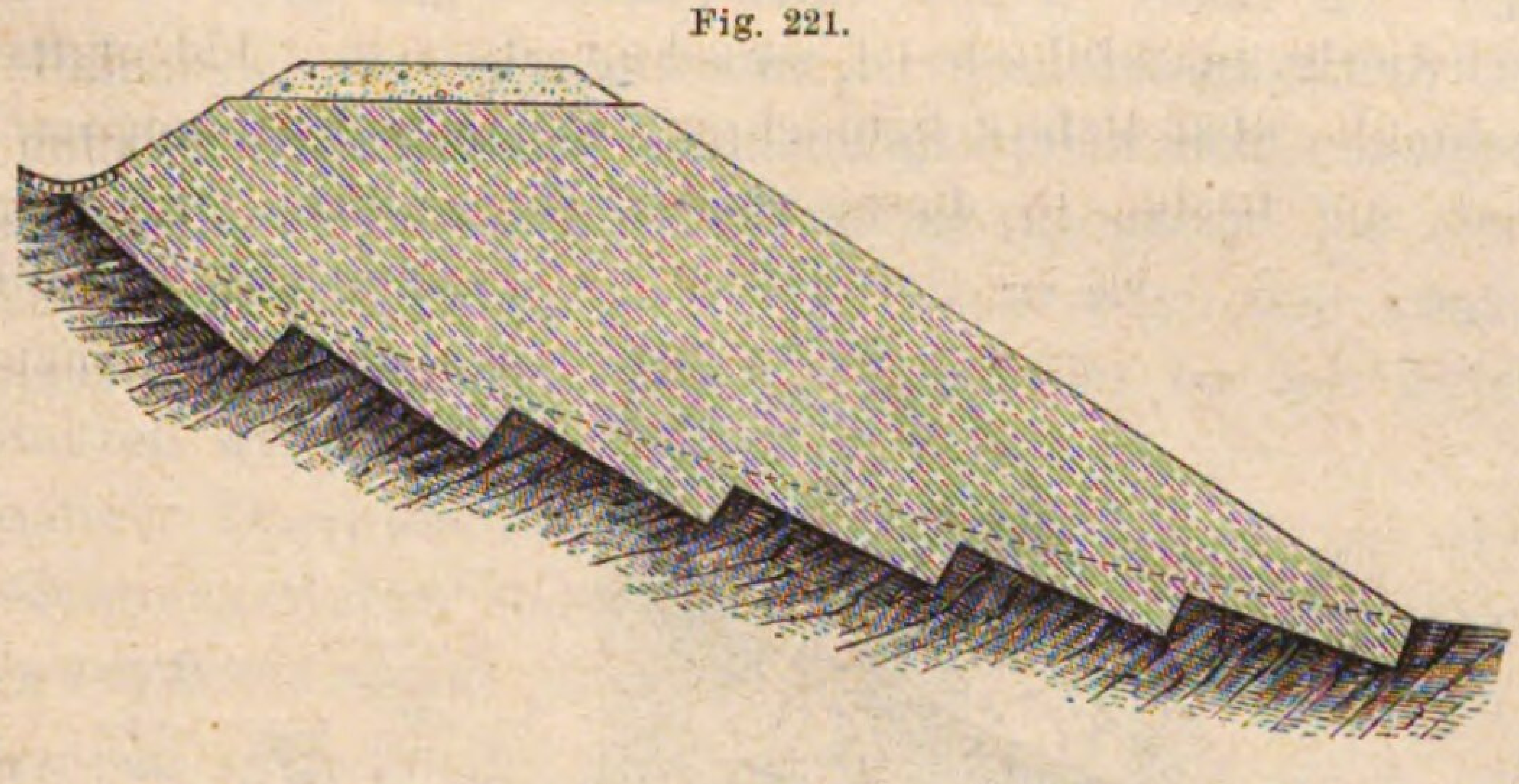
zulegen, um das Erweichen der Zähne zu verhüten. Diese letztere Anordnung ist bei starker Neigung am meisten zu empfehlen. Besteht die oberste Schicht aus loser Erde, die selbst leicht unter dem Drucke des Dammes abrutschen kann, so muss dieselbe, wenigstens in der unteren Parthie der Dammsohle, beseitigt werden.

Fig. 220.



Bei starker Neigung kann man statt dessen auch ein in das Terrain eingeschnittenes Gegenbankett (ähnlich wie in Fig. 224) anwenden. Hierzu lässt sich gestampfte Erde verwenden; steht Steinmaterial zur Verfügung, so ist dieses natürlich vorzuziehen. Ueber diese Steinvorlagen haben wir bereits in §. 144 bis 147 gesprochen. Bei den Steindämmen genügt es, den Fuss der Böschung gut gegen Verschieben zu sichern und zwar je nach der Grösse des Dammes und der Neigung durch eine oder einige Verzahnungen (Fig. 181 und 182); liegt Felsen zu Tage oder in geringer Tiefe unter dem Terrain, so wird man den Fuss in den Felsen einsprengen (Fig. 181). Eine Abtreppung hindert hier das gleichmässige Setzen mehr als bei Erdmaterial, so dass diese Abtreppungen möglichst zu vermeiden sind. Dicht unter der Planie sind die Absätze allerdings zur direkten Stützung der Last zweckmässig (Fig. 188); nur muss man mit dem Aufbringen des oberen Materials ein gehöriges Setzen des unteren abwarten.

Fig. 221.

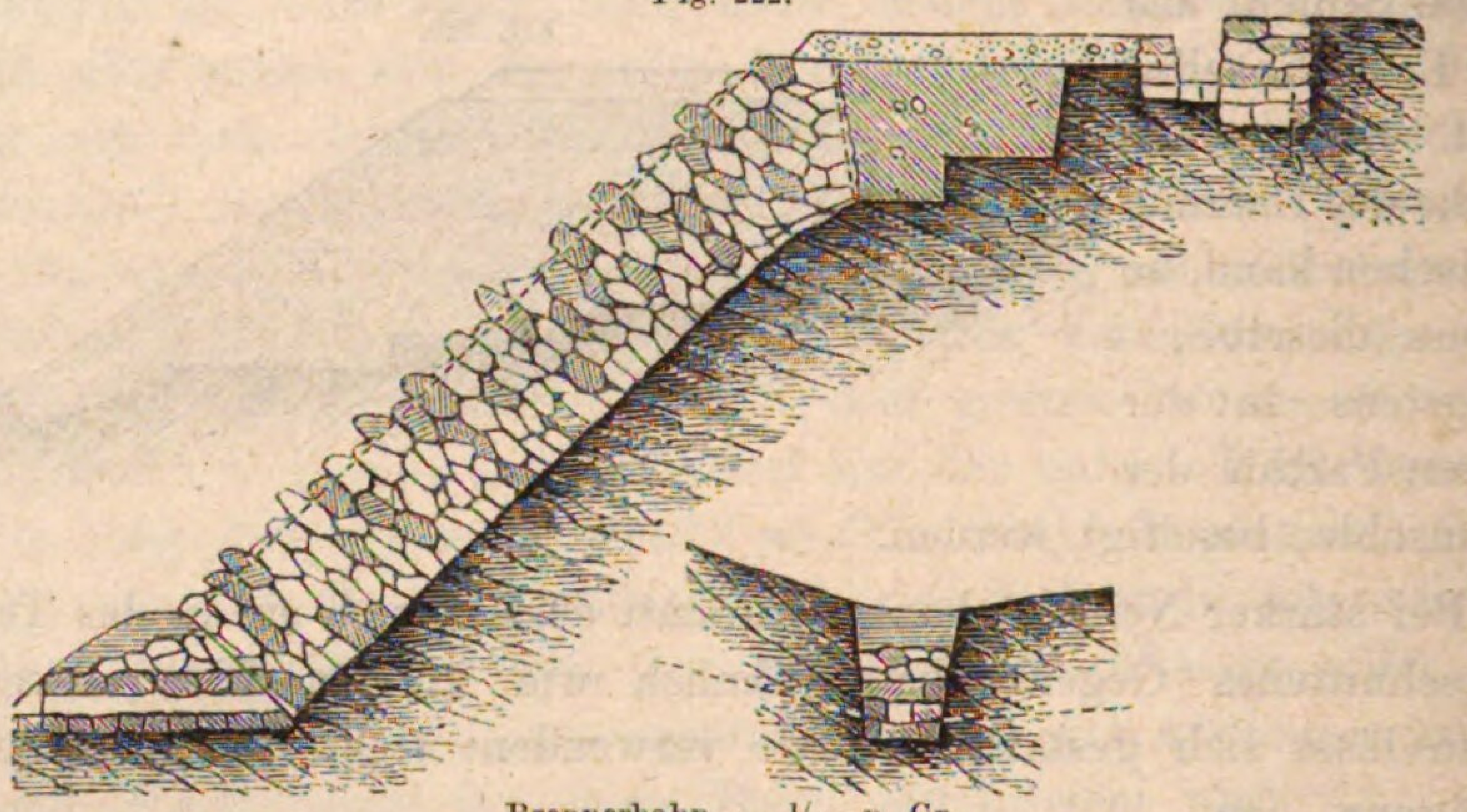


Es ist zweckmässig, den Einschnitten in das Terrain ein Längsgefälle zu geben und an den tiefsten Punkten das sich hier sammelnde Wasser durch Querkanäle mit etwa $\frac{1}{10}$ Neigung seitlich abzuführen (Fig. 222), damit das Terrain, gegen welches sich der Damm stützt, nicht erweicht wird.

Bei der Orleansbahn hat man in Fällen, wo eine tiefe Fundirung nöthig war, nur einzelne Pfeiler fundirt und diese mit Gewölben über-

spannt, um die Kosten herabzumindern (Fig. 223). Indess dürfte diese Konstruktion wohl auch bei geringerer Fundirungstiefe, wenn dieselbe

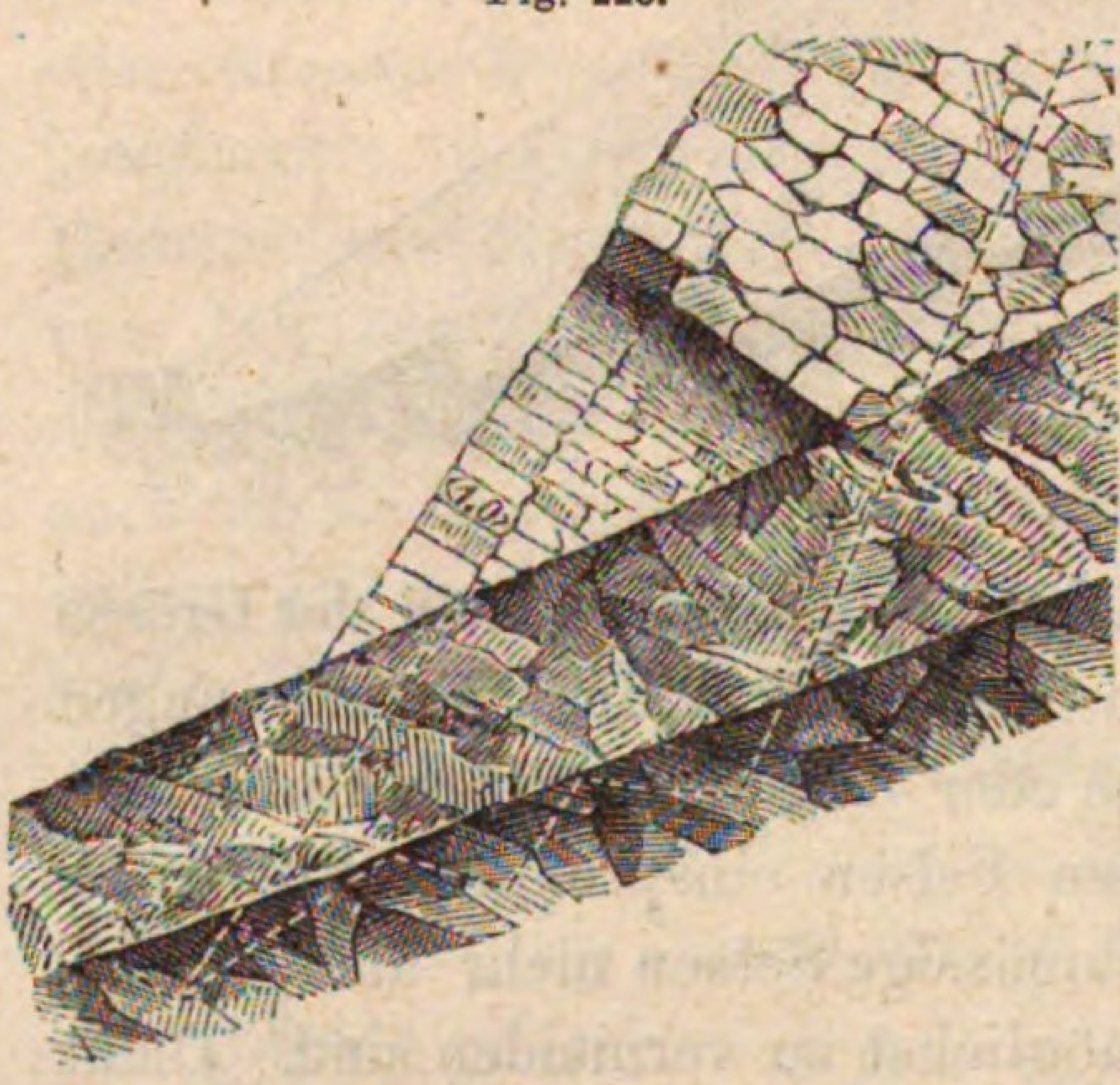
Fig. 222.

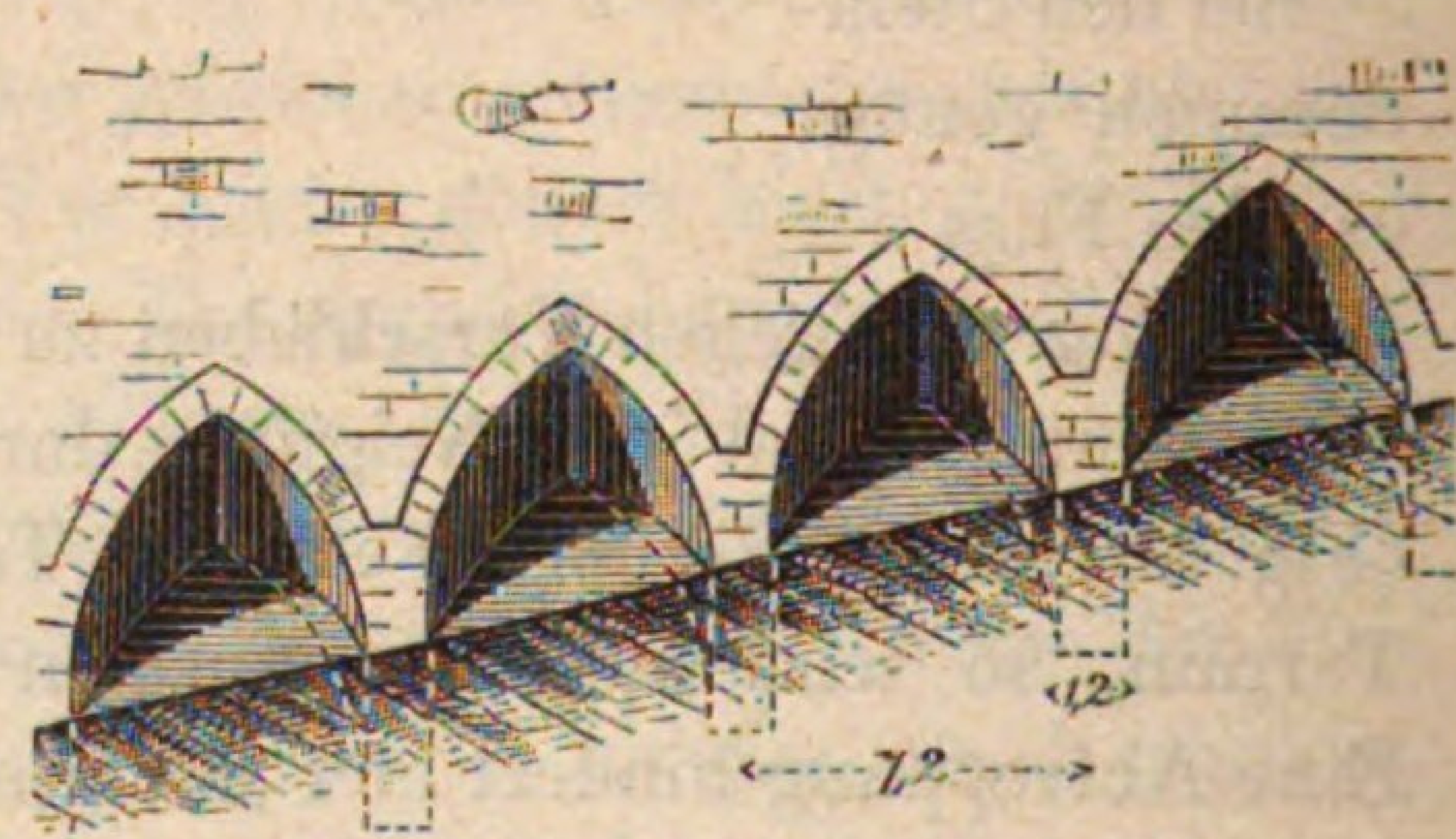


Brennerbahn. — 1/250 n. Gr.

schwierig auszuführen ist, zweckmässig sein. Jedenfalls aber wird man schmale, aber tiefere Schluchten, welche ein Steindamm zu überschreiten hat, am besten in dieser Weise überwölben. Rundbögen sind hierbei aber den in Fig. 223 angewendeten Spitzbögen vorzuziehen.

Fig. 223.





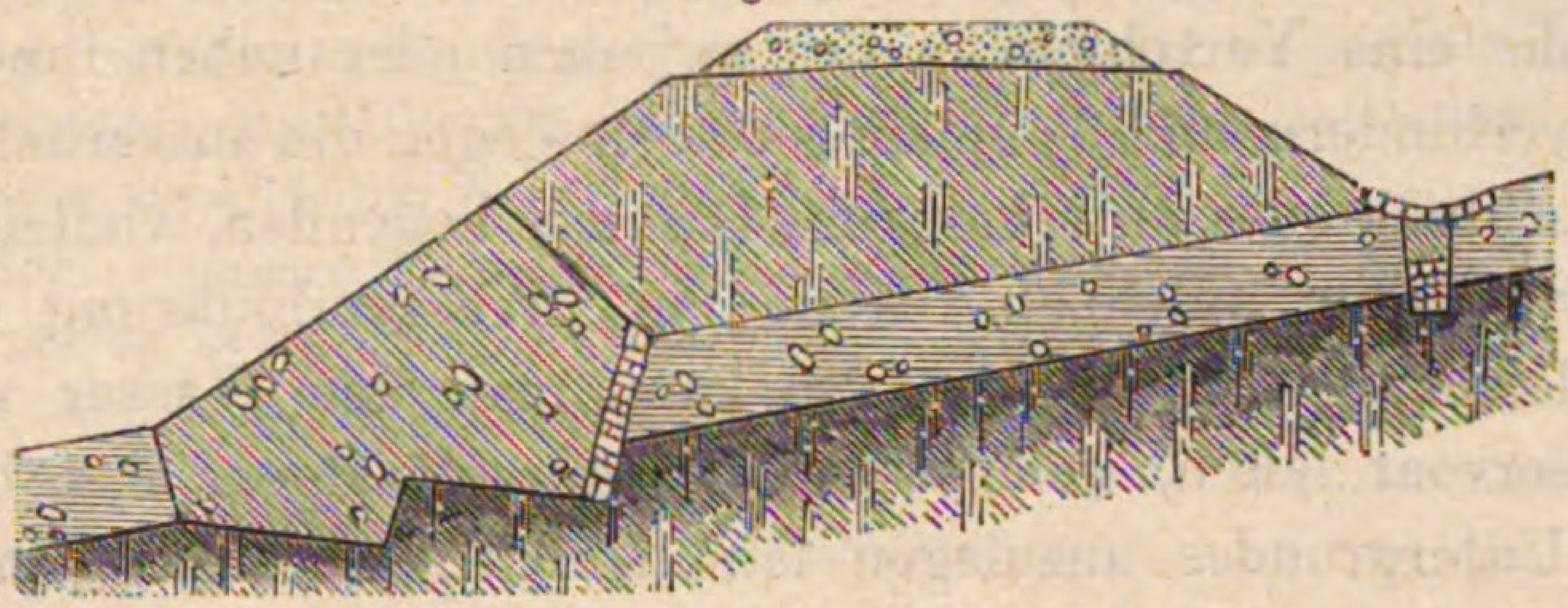
Orleansbahn. — 1/250 u. 1/500 n. Gr.

Der Einschnitt für einen Steindamm oder ein Steinbankett, falls nur ein solcher Einschnitt angelegt wird, erhält nach den Normalien der österr. Südbahn *1 + 0,1 h Meter*, nach den Normalien der österr. Nordwestbahn *1,5 + 0,1 h Meter* Breite, wenn *h* die Höhe der Steinkonstruktion bedeutet.

§. 158. Gründung auf Boden mit wasserführenden Schichten. Wenn sich in einiger Tiefe eine wasserführende Schicht zeigt, so ist jedenfalls eine Entwässerung nothwendig. Die Entwässerung ist hier im Allgemeinen leicht durchzuführen, da man die Fläche kennt, auf welcher das Wasser abläuft. Zunächst ist ein Sickergraben oberhalb des Dammes anzuordnen (Fig. 224), um das Terrain unter dem Damme trocken zu legen. Auch kann es gerathen sein, noch eine Entwässerung

in grösserer Entfernung oberhalb des Dammes anzuordnen, um das Wasser um so sicherer abzufangen. Oft legt man auch unter dem Damme oder unterhalb desselben einen oder mehrere Sickergräben an, da die oberhalb gelegenen nicht immer alles Wasser auffangen. Indem man das unterhalb des Dammes liegende Terrain trocken legt, wirkt dasselbe für das oberhalb liegende wie ein Gegenbankett. Durch den oberen Graben ist eine Sicherung gegen Abrutschen erst dann geboten, wenn das vor der Anlage des Grabens unterhalb desselben befindliche Wasser in genügender Breite abgelaufen ist, was oft ziemlich lange währt. Kann mit dem Beginn des Dammes nicht so lange gewartet werden, so gewähren die unterhalb des Dammes angelegten Gräben wenigstens vorläufig einigen Schutz, indem sie ein natürliches Gegenbankett erzeugen.

Fig. 224.



Ausser der Entwässerung kann auch noch die Anlage eines künstlichen Gegenbanketts wirksam sein, nur muss dasselbe bis zur festen Schicht eingeschnitten werden (Fig. 224).

Bei vollständiger Durchweichung des oberen Bodens ist ein ausgedehntes Entwässerungssystem durch Dränröhren, Sickerkanäle oder Stollen nöthig, worauf wir später zurück kommen.

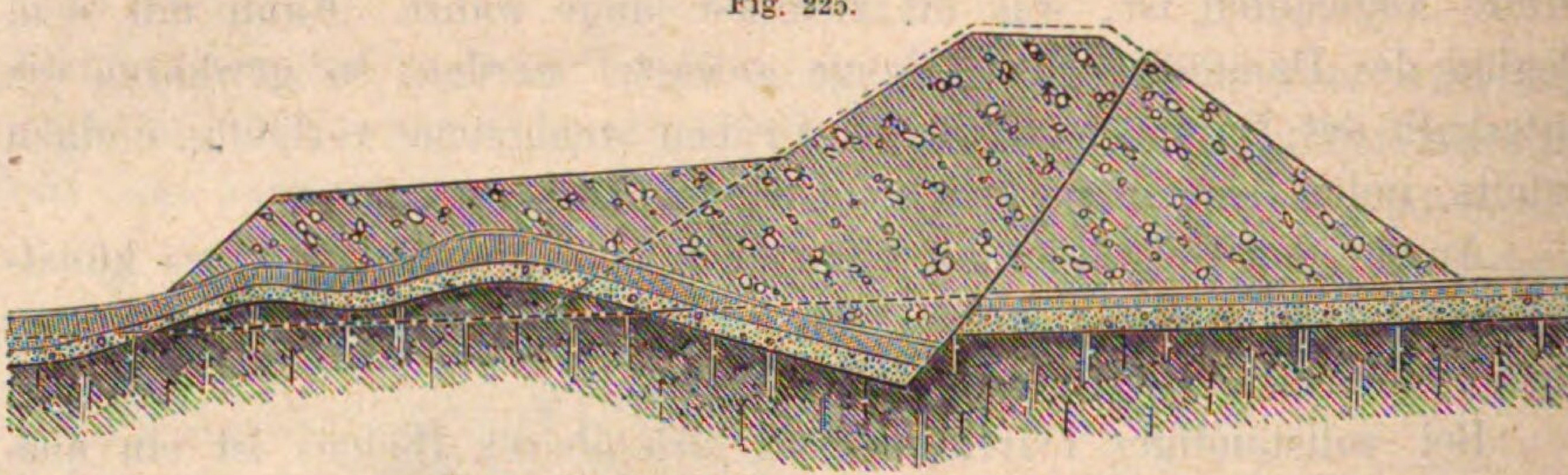
Beispiel. Dass man selbst bei sehr tiefer Lage der wasserführenden Schicht unter Umständen Rutschungen erwarten kann, zeigt folgendes Beispiel:

Damm der Bötzbergbahn bei Villnachern in der Schweiz. Der nur *3 bis 5*^{m} hohe, auf nur schwach geneigtem Terrain geschüttete Damm wich mit einem unter ihm liegenden *200*^{m} langen, *150*^{m} breiten Terrainstück um *1,5*^{m} bergabwärts, wobei eine Senkung von *0,75*^{m} eintrat. Versuchsschächte ergaben, dass man es mit einer auf schief abfallenden Molasseabtreppungen lagernden, thonigen Schuttmasse, welche dereinst von den hinterliegenden Berghöhen herabgerutscht war, zu thun habe. Unmittelbar über den Molassebänken war die Schuttmasse durch das absickernde Wasser in einen breiigen Zustand übergegangen. Die Rutschfläche lag in der grossen Tiefe von *30 Met.* unter der Terrainfläche. Man ordnete eine Entwässerung mittels Stollen an.

§. 159. Gründung auf weichem Thonboden im Trocknen. Sind die durchnässten Schichten nicht sehr dick, so genügt oft, wie bereits im vorigen §. erörtert, ein Sickergraben oberhalb des Dammes. Bei grösserer Dicke wird man auch unter dem Damme einen oder mehrere Sickergräben anlegen, die bis in die trockene Schicht reichen. Bei grosser Mächtigkeit oder grosser Tiefe würden Sickerschlitze oder Schächte und Stollen bergmännisch anzulegen sein.

Bei Anwendung von Schlitzen würde man bei horizontalem Terrain auf beiden Seiten, bei geneigtem Terrain auf der unteren Seite des Dammes einen Schlitz treiben. Bei dieser Anordnung werden die mit Steinen gefüllten Schlitze in mehrfacher Weise wirken, nämlich 1) durch Entwässerung, 2) als eine Art Futtermauern oder wie ein Gegenbankett die eine Verschiebung des zwischen oder neben ihnen liegenden Bodens verhindern und 3) indem sie sich gegen die ausserhalb der beiden Sickerschlitze oder unterhalb des Dammes liegenden, vielleicht zum Theil festen Schichten anlehnen. Kann eine Wasserabführung durch Stollen nicht leicht bewirkt werden, so kann man das Wasser vielleicht in ein Reservoar leiten, welches in einer durchlässigen, absorbirenden Schicht des Untergrundes anzulegen ist. Durch vorheriges Eintreiben von Spundwänden wird die Anlage der Steinfilter zuweilen erleichtert und ihre Wirkung erhöht werden können.

Fig. 225.



Damm der Great-Western-Bahn. — $^1/_{800}$ n. Gr.

Ausserdem muss man trachten, die Dämme auf solchem Terrain so niedrig als möglich zu machen. Auch ein Materialgraben auf der Berg- oder Thalseite kann schädlich wirken, indem er die Festigkeit der oberen trocknen Schicht vermindert.

Beispiele. Damm der Great-Western-Bahn von *16,5*^{m} Höhe, aus Kies geschüttet. Der Grund bestand aus Ackererde, unter welcher sich angeschwemmter Thon in *1,2*^{m} Dicke und Kies in *1 bis 3*^{m} Dicke befand, welcher letztere auf Thon ruhte, der in allen Richtungen von Schlammschichten durchkreuzt war. Sicherungen waren nicht angeordnet. Der Damm spaltete und der Untergrund verwarf sich, indem er sich auf der unteren Seite zum Theil senkte, zum Theil emporstieg (Fig. 225). Ein weiteres Emporsteigen wurde durch Belastung mittels einer Brustwehrbank verhütet. Allmählig trat Ruhe ein.

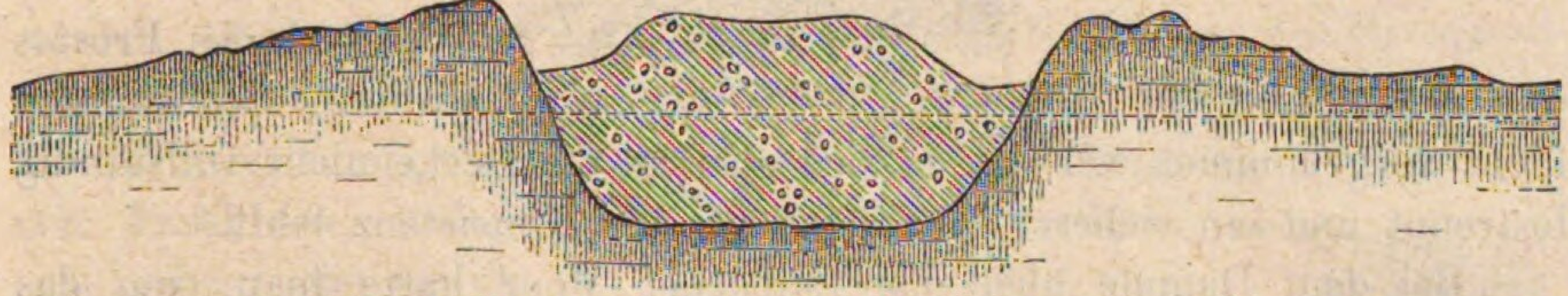
Damm der Paris-Versailler Bahn (linkes Ufer). Der Grund bestand aus Kreide, welche von weichem Thone und Dammerde überlagert wurde. Nachdem eine ähnliche Verschiebung, wie im vorigen Falle, eingetreten war, wurden nach dem Entwurfe von M. Bergeron unterhalb des Dammes zwei Steinfilter von *12 bis 15*^{m} Tiefe in *10*^{m} Abstand angelegt, welche in Abständen von *20*^{m} durch Querfilter verbunden waren. Auf der Sohle waren Schleusen angeordnet, welche das Wasser in einen Brunnen führten, der in der zerklüfteten Kreide angelegt war. Der Boden zwischen beiden Filtern trocknete aus und wirkte alsdann als Gegenbankett.

Damm derselben Bahn bei der Station Sèvres. Der auf Thon geschüttete Damm, welcher aus einander schob, wurde durch horizontale Ankerstangen, welche Bohlentafeln mit einander verbanden, zusammengehalten. Unterhalb wurde ein Steinfilter, oberhalb eine Spundwand angelegt.

Damm der Linz-Budweiser Bahn. Die Dammschüttung erfolgte ohne besondere Vorkehrungen gegen etwaige Rutschungen auf wenig geneigtem Terrain. Nach anhaltendem Regen trat thalwärts plötzlich eine der in Fig. 225 dargestellten Rutschung ähnliche Deformation ein. Die Untersuchung zeigte, dass der Untergrund aus einer mächtigen Masse verwitterten Granites bestand, dem aber der Feldspath derart verwittert als Thon beigemengt war, dass er bei Zutritt von Wasser erweichte. Die Senkung betrug mehr als 3^m. Man ordnete nun eine Entwässerung des Terrains durch einen, den Damm schief durchschneidenden Sickerschlitz (Fig. 257) an. Die durch Vermengung mit dem schwimmenden Boden stellenweise durchweichte Auftragsmasse trocknete man durch mehrere kleinere Schlitze aus.

§. 160. Gründung auf Moorboden. Die auf Moorboden ausgeführten Dämme sinken in denselben je nach der Konsistenz des Moores mehr oder weniger tief ein; das nebenliegende Terrain steigt dabei meist empor (Fig. 226 bis 228). Ist eine feste Decke vorhanden, so

Fig. 226.



Bahn von Nantes nach Brest. Thal der Vilaine. — $^1/_{600}$ n. Gr.

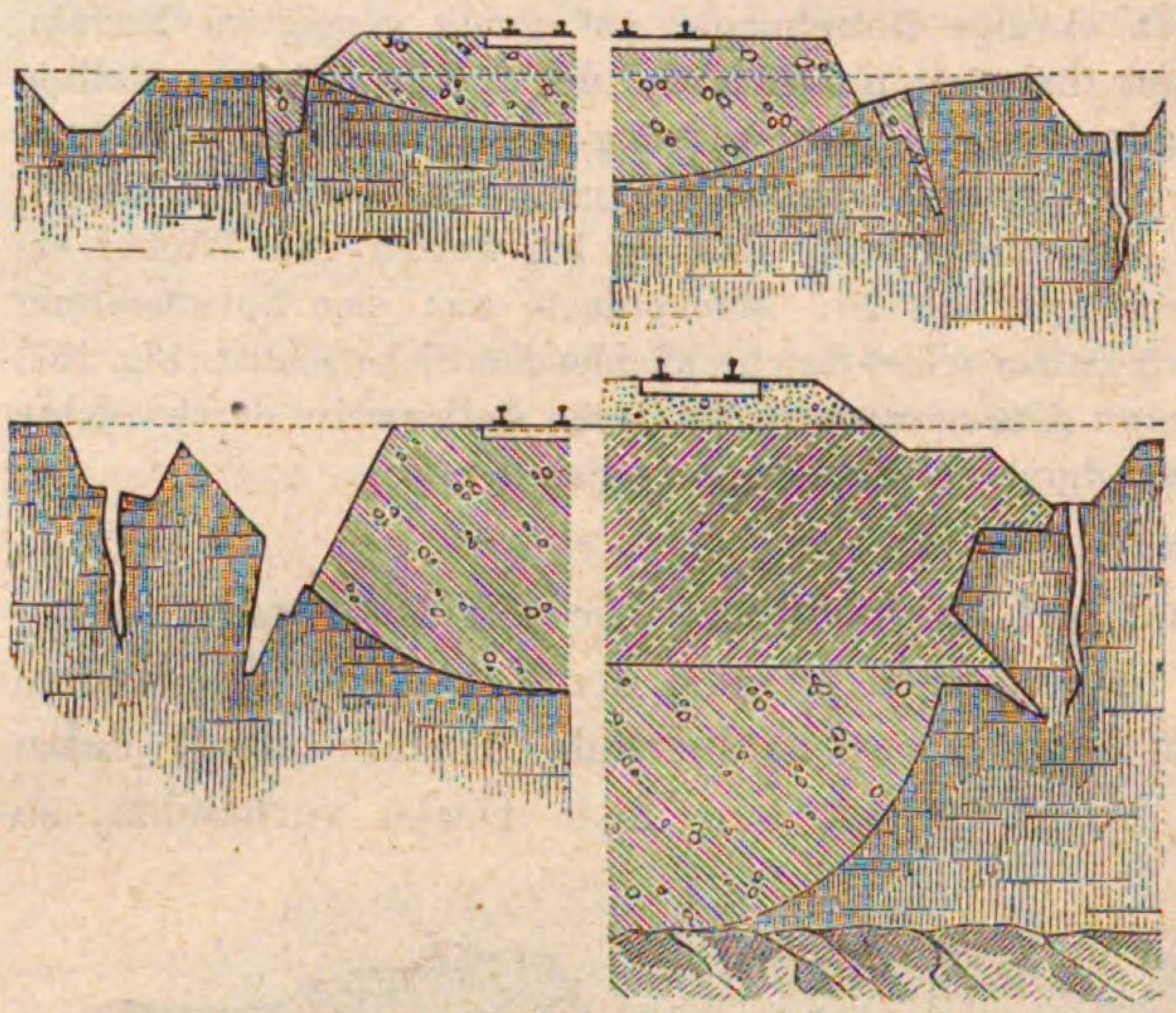
wird die Senkung anfangs nur unbedeutend sein; es kann aber die Decke plötzlich brechen und somit ein schnelles Versinken des Dammes eintreten; es ist dies sogar erst beim Betriebe geschehen. Daher ist es, falls die Bodenuntersuchung zeigen sollte, dass unter der festen Decke weiche Schichten liegen, räthlich, das Senken des Dammes bis zum festen Stand zu befördern. Hierzu ist es zweckmässig, parallel zur Bahnaxe *1* bis 2^m von den Böschungen entfernt, *0,45 bis* $0{,}60^m$ breite Gräben zu führen, welche bis in den breiigen Moor hinabreichen. Hierdurch verwandelt man den unter dem Damme liegenden Theil der festen Decke gewissermassen in einen, das Material zusammenhaltenden Rost und vermeidet Hebungen des seitlichen Terrains.

Bei dem Damme der Bremen-Geeste-Bahn im Viehmoore wurden die Längsgräben unter dem projektirten Damme angelegt und ausserdem mit Sand ausgefüllte Quergräben hergestellt, um ein gleichmässiges Setzen zu erzielen und das herausgepresste Wasser den Bahngräben zuzuführen. Fig. 227 zeigt den Bau in verschiedenen Stadien.

Der einsinkende Damm nimmt je nach der Konsistenz des Moores und der Art der Materialaufschüttung verschiedene Formen an. Bei

weichem Moore nimmt er die aufrechte Dammform an und verdrängt das unter ihm liegende Moor ganz oder zum grossen Theil; bei festerem Moore nimmt er die umgekehrte Dammform an (Fig. 226 bis 228) und sinkt weniger tief herab. Der mittlere Theil sinkt stärker, so dass die Basis gewöhnlich eine nach unten mehr oder weniger gekrümmte Form annimmt.

Fig. 227.

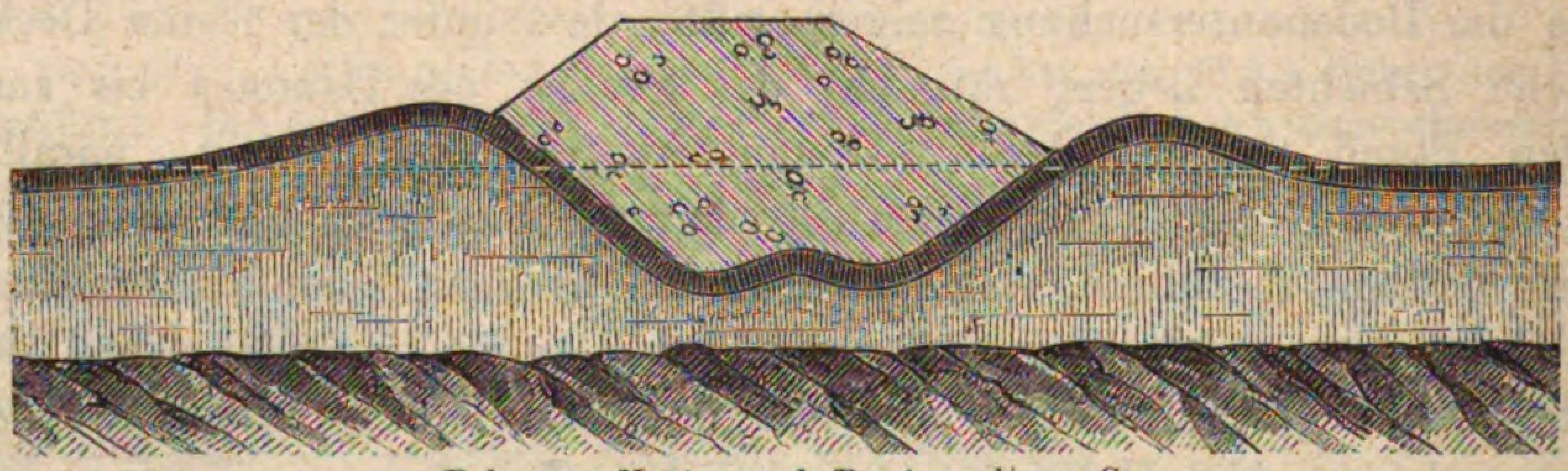


Damm der Bremen-Geeste-Bahn. — $^1/_{300}$ n. Gr.

Die Schüttung muss anfangs möglichst gleichmässig über die ganze zu versenkende Fläche vertheilt werden, um ein Zerreissen der Decke zu verhüten. Während des Frostes sollten Schüttungen nicht vorgenommen werden, da sich alsdann die Decke nicht vollständig lostrennt und ein sicherer Maassstab für die Konsistenz fehlt.

Bei dem Damme über das Laibacher Moor hatte man, um das Material des Dammes beim Versenken desselben zusammen zu halten, in Entfernungen von *5,7*^{m} von den Böschungsfüssen Gräben von *3,8*^{m} Tiefe angelegt und diese mit Steinen ausgefüllt. Diese Anordnung ist

Fig. 228.



Bahn von Nantes nach Brest. — $^1/_{500}$ n. Gr.

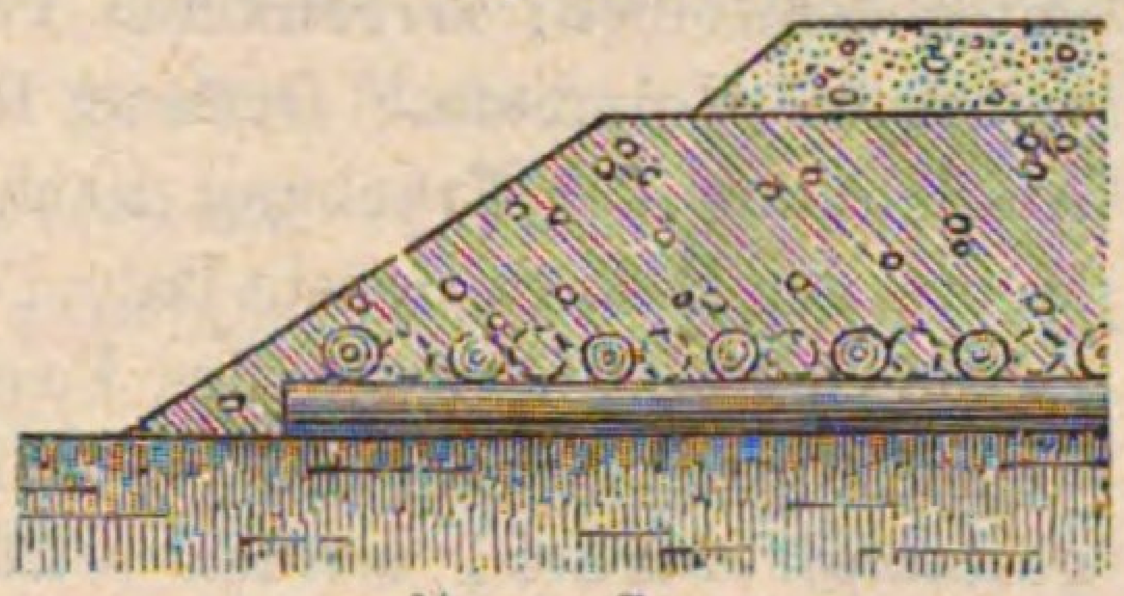
wohl wirksam, aber gegen den erzielten Erfolg zu kostspielig.

Statt der angegebenen Methode der Versenkung des Dammes lassen sich noch folgende Methoden befolgen:

1) Anwendung eines Schwellrostes, welcher entweder aus dicht neben einander (Mann an Mann) oder in einiger Entfernung der Quere nach neben einander gelegten, mehr oder minder dicken Baumstämmen besteht; darüber legt man auch wohl noch im Verbande, d. h. mit ab-

wechselnden Stössen, Längshölzer (Fig. 229); die Enden derselben gehen auf ein kurzes Stück neben einander vorbei. Nur bei geringer Belastung ist ein solcher Rost wirksam und auch dann kostspieliger, als eine Dammversenkung, wenigstens bei uns. In Amerika soll dieses Mittel vielfach in Anwendung gekommen sein. Bei einem solchen Schwellroste neben einem Seee neigte sich der Rost nach dem See zu, was zur Folge hatte, dass der ganze Damm auf dem Roste in den See rutschte.

Fig. 229.



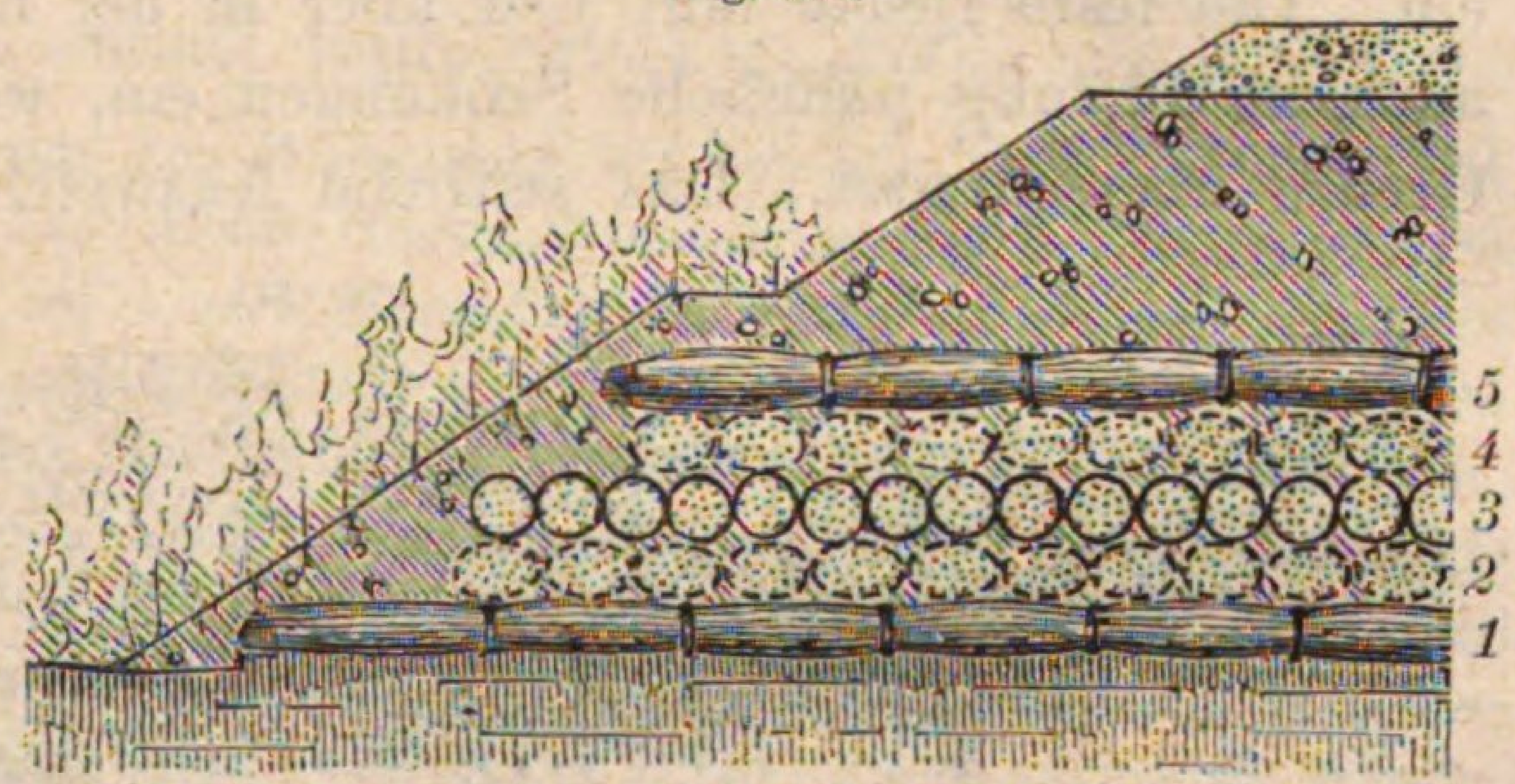
$^1/_{100}$ n. Gr.

2) Anwendung eines Pfahlrostes. Dieses Mittel ist meist nicht anwendbar, weil die Pfähle unter dem weichen Boden meist nur Felsenboden finden, in den sie nicht eindringen, so dass sie keinen festen Stand erhalten, und überdies würde dieses Mittel auch kostspieliger sein, als eine Dammversenkung.

3) Anwendung von Sandpfählen, wobei Pfähle eingeschlagen, wieder herausgezogen und sodann die Löcher mit Sand ausgefüllt werden, oder von Sandgruben, d. i. von Gruben, welche mit Sand ausgestampft werden. Dieses Mittel ist nur bei einer gewissen Konsistenz des Moores anwendbar und auch weniger wirksam und theuerer, als die Dammversenkung.

4) Anwendung eines Faschinenbettes, welches aus mehreren Lagen von Faschinen, welche sich kreuzen oder aus abwechselnden Lagen von Faschinen und Sand besteht (Fig. 230). In der Figur liegt die Schicht 1 quer, 2 unter 45°, 3 der Länge nach, 4 unter 45° und die Schicht 2 kreuzend, 5 quer. Bei geringen Belastungen, namentlich für Strassen, kann dieses Mittel ausreichend sein. Bei nicht zu weichem Moore wurde dasselbe auch schon für Eisenbahnen angewendet. Das Faschinenbett wirkt einestheils, indem hierdurch gegenüber einem Erddamme die Belastung vermindert wird, anderntheils, indem hierdurch eine zusammenhängende, den Druck vertheilende Schicht gebildet wird.

Fig. 230.



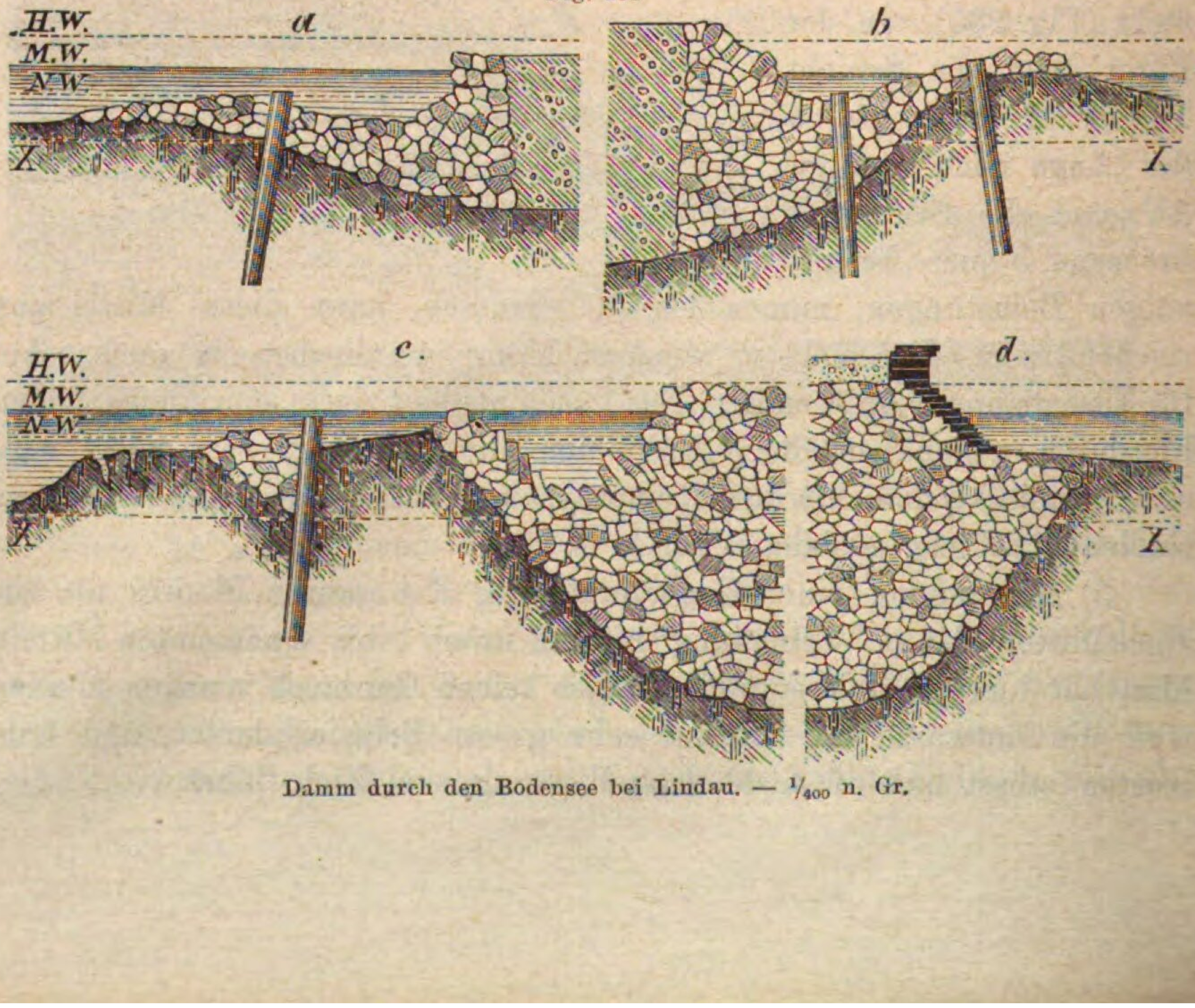
$^1/_{100}$ n. Gr.

5) Anwendung einer Entwässerung des ganzen Moores als einziges Mittel oder in Verbindung mit den unter 1 bis 4 genannten Mitteln. Man hat hiervon indess in der Regel keinen Gebrauch machen können, weil die Entwässerung oft auf sehr grosse Schwierigkeiten und hohe Kosten stösst und oft nicht schnell genug zum Ziele führt.

Beispiele. — Damm über das Laibacher Moor auf der österr. Südbahn, *2363 Meter* lang, *3,8 Meter* über dem Terrain, *9,5 bis 14,2 Meter* unter demselben, ausgef. 1856. — Bahn von Nantes nach Brest, in den drei Thälern von Isac, Vilaine und Oust, *2,8 bis 5,9 Meter* über dem Terrain, im Maximum *4 bis 8 Meter* unter demselben; versunkenes Volumen = *0,52 bis 0,65*, im Mittel, = *0,60* des verwendeten Volumens. Grösste Erhebung des Terrains *2,6 bis 3,9 Meter*, grösste Ausdehnung der Erhebung nach der Seite *44 bis 70 Meter*. — Dämme über drei Moore der Bremen-Geeste-Bahn; im Maximum *11 Meter* unter dem Terrain. — Bahn zwischen Saint-Germain des Fosses und Roanne. Der Schlamm wurde anfangs mit vielen Kosten ausgebaggert; Banketts, welche in ausgebaggerten Einschnitten angestampft wurden, wurden seitlich verschoben. — Damm der Kronprinz-Rudolph-Bahn bei Wald; mittlere sichtbare Höhe des Dammes = *3,32 Meter*, Dicke des Torfmoors mittlerer Konsistenz = *7,6 Meter*, versunkenes Volumen = *0,50* des ganzen verwendeten Volumens; ausgef. 1870. — Damm der Bahn von Amiens nach Boulogne im Thale der Somme, *4 bis 5 Kilom.* lang; die Planie liegt *0,5 bis* $1{,}0^{m}$ über dem Terrain. Zu beiden Seiten liegen Materialgräben. Der Torf hat eine variabele Konsistenz und eine Dicke von ungefähr 10^{m}. Die Senkung erfolgte langsam, *0,1 bis 0,2*, auch $0{,}4^{m}$ pro Monat. Nachdem man bereits $70000^{kbm.}$ verwendet hatte, wurde die Bahn eröffnet und abwechselnd das eine und das andere Gleis für den Betrieb und zum Transporte des Erdmaterials verwendet. Erst nach 3 Jahren vom Beginn der Arbeit an kam der Damm zur Ruhe, indem man $150000^{kbm.}$ d. i. *4 mal* so viel, als dem sichtbaren Theile des Dammes entspricht, verwendet hatte.

§. 161. Gründung auf Seeschlamm. Die Gründung auf dem weichen Seeschlamme stimmt mit der auf Moorboden so ziemlich überein. Die feste Decke fällt hier aber in der Regel weg; trotzdem treten auch hier häufig plötzliche Senkungen ein, wenn die Last eine gewisse Grenze überschreitet. Das seitliche Ausweichen des Dammes und das

Fig. 231

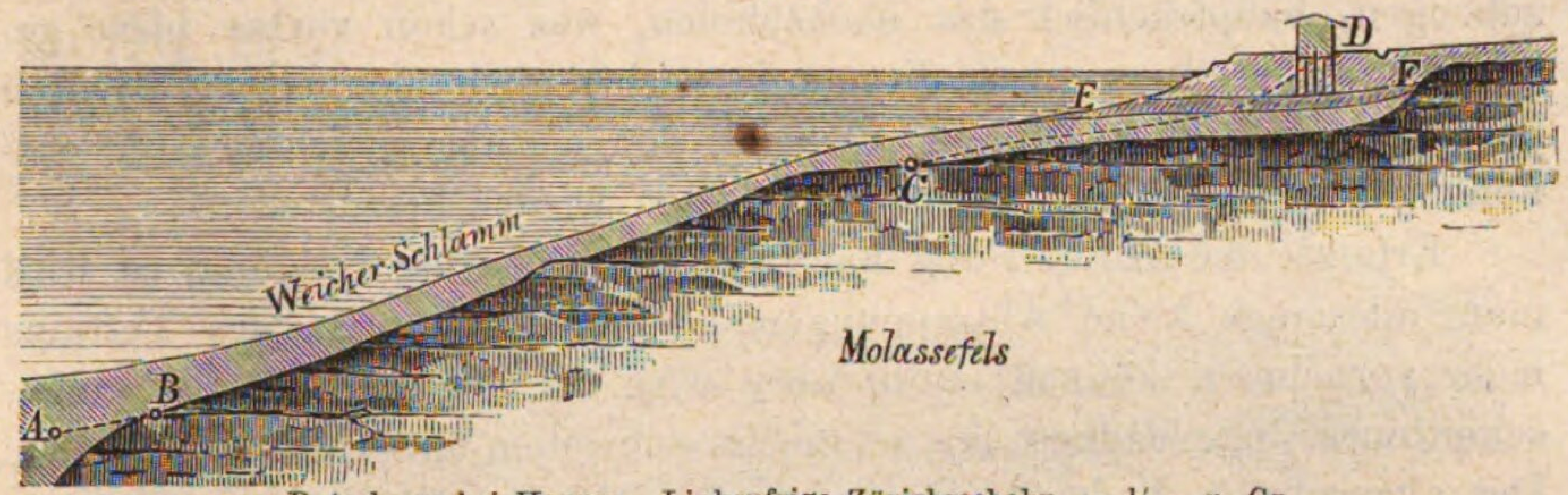


Damm durch den Bodensee bei Lindau. — $\frac{1}{400}$ n. Gr.

Vermengen des Schlammes mit dem Schüttungsmateriale lässt sich hier durch eingerammte Pfahlreihen zum Theil verhindern. Jedenfalls ist es auch hier rathsam, das Material möglichst gleichmässig über die Grundfläche zu vertheilen, um eine möglichst gleichmässige Senkung zu veranlassen. Nach aussen hin ist möglichst grobes Material, womöglich grössere Steine, zu bringen, um ein Fortspülen zu verhüten.

In der Nähe der Ufer kann die feste Unterlage des Schlammes eine geneigte Lage haben, so dass gleichzeitig mit den Senkungen auch Rutschungen möglich werden, welche jede Dammschüttung zur Unmöglichkeit

Fig. 232.



Rutschung bei Horgen. Linksufrige Zürichseebahn. — $^1/_{1000}$ n. Gr.

machen können, wenn sich nicht der Schlamm ganz beseitigen lässt. Man kann es selbst mit anscheinend festem Boden zu thun haben, der aber auf Schlamm ruht und natürlich in Folge einer Belastung nachgibt, indem der letztere den Schlamm seitlich verdrängt (Fig. 232).

Beispiele. — Damm durch den Bodensee bei Lindau. Das Profil Fig. 204 (S. 217) bezieht sich auf die *126 Meter* langen Strecken an den Ufern auf festem Grunde, die Profile Fig. 231 auf verschiedene Stadien der *474*^{m} langen mittleren Strecke auf weichem Thonschlamme, welcher *8 bis 13*^{m} mächtig ist. Das Versinken erfolgte anfangs ruckweise, wenn die Schüttung bis zu *2,2 bis 2,8*^{m} über Null vorgeschritten war. Die Erhebungen des Bettes gingen bis zu *2,5*^{m} über Null. Anfangs wurde der Kern aus Kies geschüttet (Fig. *a* und *b*); später aber wurde der ganze Damm zur Beschleunigung des Setzens aus Steinen geschüttet (Fig. *c* und *d*). — Damm der Lübeck-Büchener-Eisenbahn durch den Möllner See; *5,0*^{m} über Wasser, *7,8*^{m} im Wasser, cirka *11,0*^{m} im Moraste. — Steindamm der Bairischen Süd-Nord-Bahn am Alpsee, auf *35*^{m} Länge *29,4*^{m} tief versunken.

Rutschung der linksufrigen Zürichseebahn bei Horgen im Jahre 1875. Die Bahn schneidet bei Horgen den See an; die Kaimauer (nach Fig. 205) wurde auf anscheinend festem Grunde geschüttet. Plötzlich stürzte ein *135*^{m} langer Theil der Mauer mit dem grössten Theile der Anschüttung ein. Es zeigte sich, dass die Seetiefe um *6*^{m} grösser geworden war, und man vermuthete, dass ein Verdrängen weicherer Schichten stattgefunden habe. Der für Horgen projektirte Bahnhof wurde in Folge dessen weiter landeinwärts verschoben. Nach Vollendung des angeschütteten Bahnhofs zeigten sich nach einem starken Regenwetter Risse und kurze Zeit darauf stürzte das Terrain mit der Anschüttung und den Gleisen in sich wiederholenden Malen in der Länge von *304*^{m} und einer Breite von *48*^{m} in die Tiefe und verschwand unter Wasser (Fig. 232). Die auf Pfahlrost fundirten Gebäude blieben stehen, jedoch wurden dieselben später abgetragen. Die Untersuchung zeigte, dass sich der den See-

grund bildende, auf Molassefels auflagernde Seeschlamm bis unter den festen, aus Sand, Kies und Letten bestehenden Boden erstreckte und dass dieser Schlamm durch die grosse Belastung seitlich verdrängt worden war. Der Molassefels zeigte sich nach der Katastrofe entblösst, so dass ein Abgleiten der Schlammreste mit dem abgerutschten festen Boden anzunehmen war; Spuren fanden sich in *450*^{m} Axabstand und *125*^{m} Seetiefe. Beim Neubaue hat man die Bahnlinie gegen *56*^{m} landeinwärts gerückt.

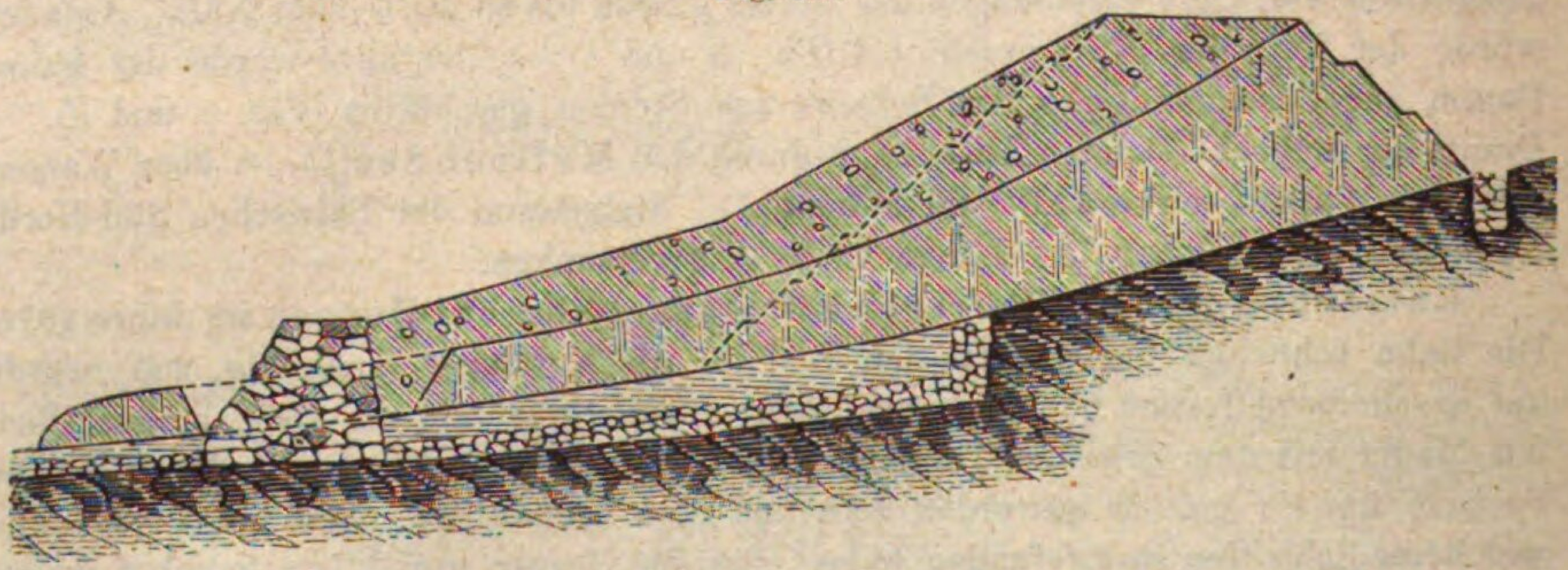
Weiteres über die Gründung von Dämmen auf dem Seeboden im „Wasserbau".

§. 162. Wiederherstellung deformirter Dämme. Bei der Wiederstellung von Dämmen, welche auf dem Grunde abgerutscht oder sonst wie deformirt sind, ist auch hier, um abermaligen Abrutschungen vorzubeugen, hauptsächlich das nachzuholen, was schon vorher hätte geschehen sollen, in so weit dies noch nachträglich möglich ist. Durch neue oder, falls dies thunlich erscheint, von der abgerutschten Erde entnommene Erde, ist die frühere Planielage wieder herzustellen.

Erfolgte die Abrutschung nur in Folge zu starker Neigung, so wird man allerdings keine Abtreppungen oder Verzahnungen des Terrains mehr vornehmen können; wohl aber wird es möglich, ein tief eingeschnittenes Gegenbankett aus möglichst schwerem Materiale herzustellen. Der abgerutschte Boden bleibt liegen; nur der vom Bankette verdrängte wird wieder aufgebracht, nachdem vorher nöthigenfalls eine Abtreppung des verbleibenden Theiles vorgenommen war.

War der Boden unter dem Damme nass, so kann man am Fusse des abgerutschten Dammes einen Längsgraben anlegen und von diesem Quergräben so weit als möglich unter den Damm führen, wobei natürlich der abgerutschte Boden zu durchstechen ist, hauptsächlich an solchen Stellen, wo sich der Boden besonders feucht zeigt. Zeigt sich auch der Boden oberhalb des Dammes feucht, so wird auch hier eine Entwässe-

Fig. 233.

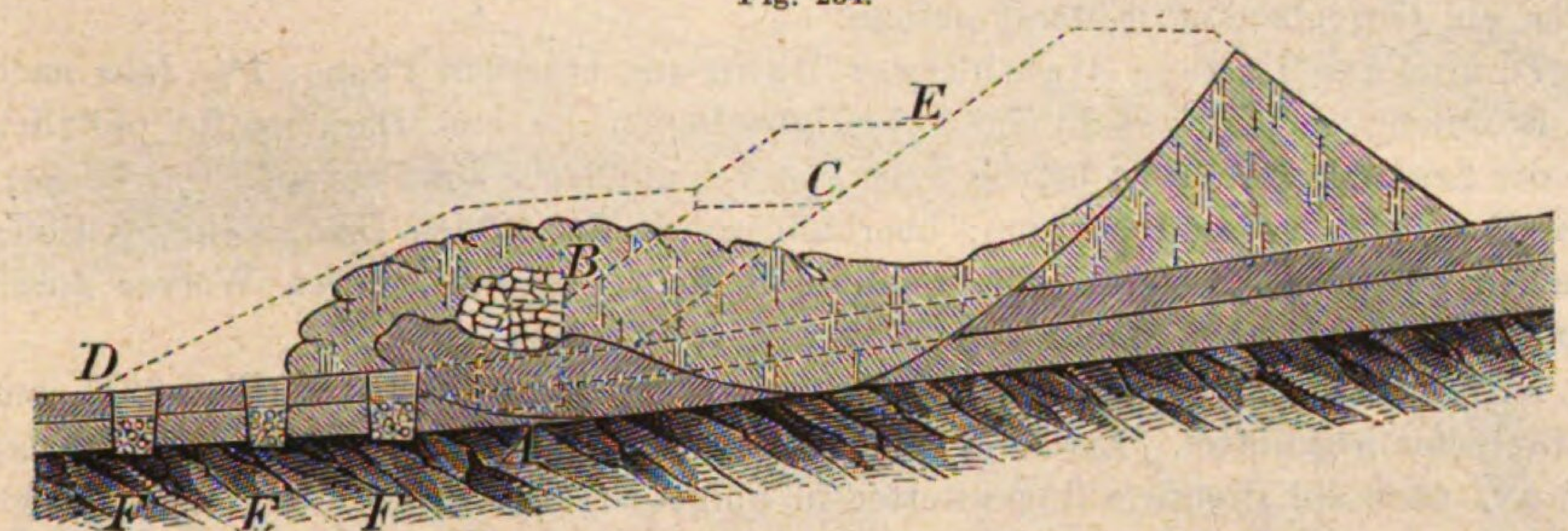


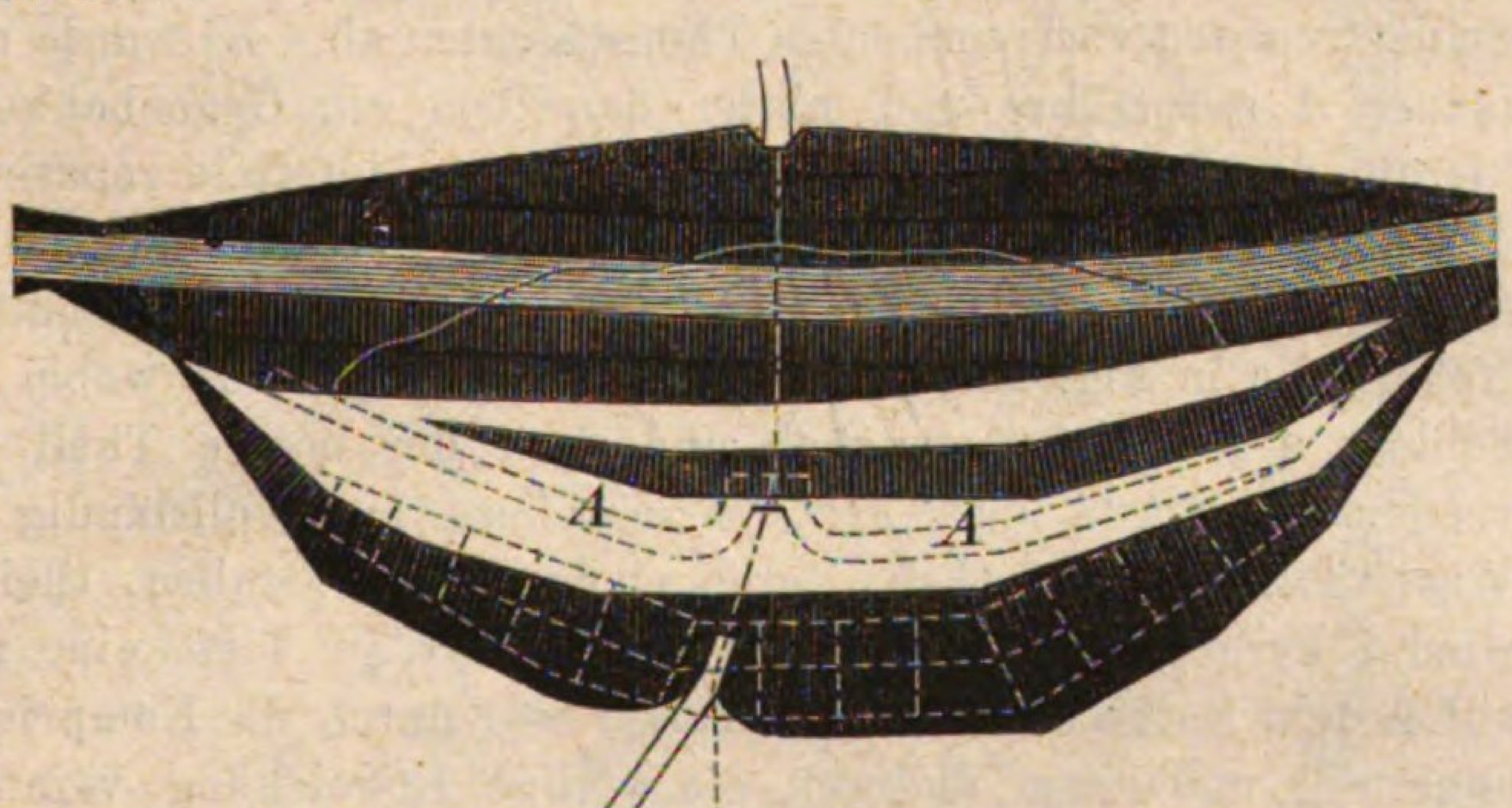
rung vorgenommen. Die Anlage von Gegenbanketten kann vielleicht auch hier neben der Entwässerung, welche sich nachträglich nicht sehr vollkommen ausführen lässt, zweckmässig sein. Das Bankett legt man am Fusse der Abrutschung nach dem im §. 152. Gesagten an. Nur, wenn das Material sehr weit nach unten gequollen ist, wird ein Ein-

schnitt in dem abgerutschten Materiale und in diesem ein Entwässerungskanal und das Gegenbankett angelegt (Fig. 233).

Ist eine wasserführende Schicht vorhanden, so lässt sich die in §. 158 besprochene Entwässerung ebenfalls nachträglich vornehmen. Zuweilen aber ist trotzdem ein weiteres Abrutschen eingetreten, da durch die Entwässerungsanlage entweder nicht alle unterirdischen Wässer abgeschnitten wurden oder die Austrocknung nicht schnell genug erfolgte. In diesem Falle ist wohl die Anlage eines Gegenbanketts aus der abgerutschten oder aus neuer Erde räthlich, nachdem man vorher am Fusse des Dammes eine möglichst vollständige Entwässerung durchgeführt hat (Fig. 234).

Fig. 234.





Bebra-Hanauer-Bahn. Damm im Hainbachthale. — $^1/_{1300}$ und $^1/_{3000}$ n. Gr

Zuweilen wirkt wohl auch schon die Bildung eines breiten Gegenbanketts, indem durch die Belastung der verschobenen oberen Erdschicht das Weiterschieben und Emporquellen derselben mehr oder weniger gehindert wird (Fig. 225, S. 234).

Ist der Damm nicht zum Stehen zu bringen, so kann wohl eine Verlegung desselben nach einer höher gelegenen Stelle, nachdem dieselbe vorher gehörig trocken gelegt wurde, das räthlichste sein (Fig. 235.).

Die Abrutschungen treten meist bei der Ueberschreitung von Querthälern ein, wo im Damme stets Durchlässe angelegt sein werden. Diese Durchlässe werden durch die Abrutschung an ihrer unteren Mündung überschüttet oder sie werden wohl auch ganz zerstört. In diesem Falle muss man so schnell wie möglich dem Wasser wieder Abfluss zu verschaffen suchen, weil sich sonst die Gefahr bedeutend vergrössern könnte. Zunächst ist zu versuchen, ob eine Räumung der Mündung

möglich ist. Befindet sich der abgerutschte Boden in einem solchen Zustande der Beweglichkeit, dass ein offener Kanal in demselben nicht gelingt, so bleibt nichts übrig, als einen unterirdischen Stollen auf oder in dem gewachsenen Boden bis zum Durchlasse zu führen. Zuweilen kann wohl eine provisorische Ableitung des Wassers von einem höher gelegenen Punkte des Baches aus über die Bahn hinweg räthlich erscheinen.

Beispiele. Damm der Westphälischen Bahn, gegen *40*^{m} hoch. Die Abrutschung der einen Böschung verschüttete die Mündung des Durchlasses auf eine grosse Länge; *3*^{m} unter der Schüttungssohle wurde ein Stollen nach der Aussenwand des Durchlasses getrieben. Der provisorische Wasserabfluss wurde durch eine Ausmauerung des Stollens in einen definitiven verwandelt. Der Rutschung wurde durch ein Gegenbankett Einhalt gethan.

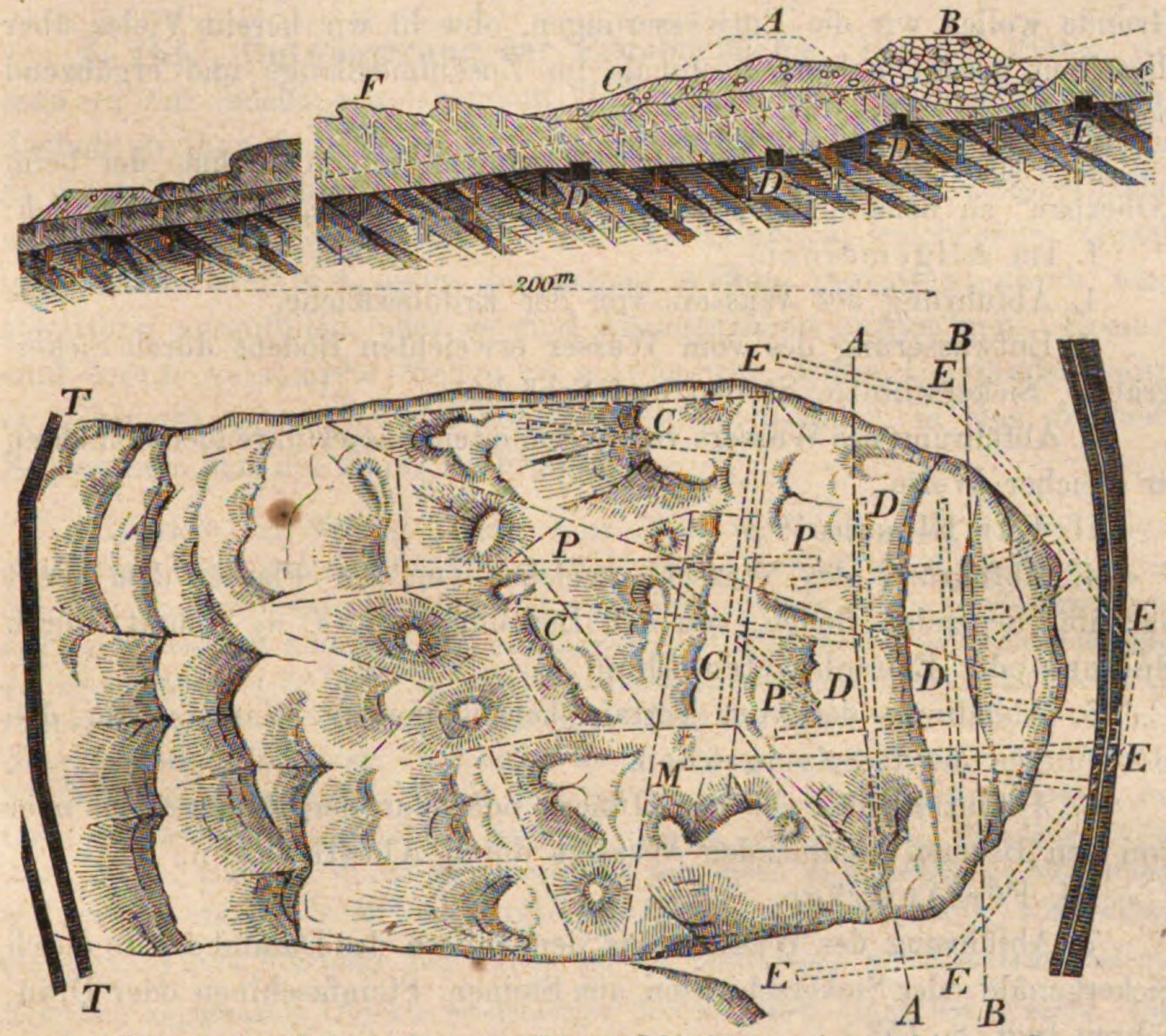
Damm der Lübeck-Hamburger-Bahn aus braunem Thone; 1½ Jahr nach der Eröffnung rutschte nach einem heftigen Regen die eine Dammhälfte plötzlich ab; die Senkung der Krone betrug *3,8*^{m}, die Verschiebung des Fusses *6,8*^{m}. Wiederherstellung durch Sandschüttung; oberhalb wurde durch den Damm ein *6*^{m} tiefer Brunnen getrieben, welcher eine quellige Schicht erreichte, deren Wasser durch Thonröhren dem nahen Bache zugeführt wurde.

Damm der Bebra-Hanauer-Bahn im Hainbachthale (Fig. 234) aus Rothschiefer geschüttet. Etwa ½ Jahr nach der Ausführung rutschte ein Theil des Dammes nach anhaltendem Regenwetter in Folge der Erweichung der zwischen den Schiefermassen vorkommenden Thonschichten ab. Es wurde am Fusse eine Trockenmauer *A* ausgeführt und hinter derselben ein Gegenbankett *BC* geschüttet und hierauf der Damm selbst wieder mit gutem Materiale reparirt. Die beim Ausheben der Baugrube für die Stützmauer blosgelegte Rutschfläche *aa* wurde durch Sickergräben mehrfach durchschnitten. Nach abermaligem anhaltendem Regen trat von Neuem die in Fig. 234 dargestellte Abrutschung ein, wobei sich die obere thonige Schicht des Grundes verschob und auch der untere Theil des Durchlasses derart verschoben wurde, dass der Wasserabfluss fast vollständig gesperrt wurde. Der Wasserabfluss wurde theils durch einen offenen Graben, theils durch einen Stollen wieder hergestellt; es zeigte sich in *3 bis 4*^{m} Tiefe eine zweite Rutschfläche *bb* auf festem Rothschiefer. Das Wasser war durch die Komprimirung der Thonschicht angestaut und hatte dadurch die völlige Erweichung veranlasst. Es wurden am Fusse 3 Längssickergräben angelegt und diese in Abständen von *15,7*^{m} durch Quersickergräben verbunden; diese Gräben wurden *0,6*^{m} tief in den Rothschiefer eingeschnitten und erhielten in der Sohle *1,9*^{m} Breite. Ueber diese Anlage wurde ein Gegenbankett geschüttet und der Damm reparirt (Linie *DE*).

Damm der Bebra-Hanauer-Bahn am Bahnhofe Schlüchtern (Fig. 235). Der Grund besteht aus Basalterde, mit mehr oder weniger Thon oder Sand gemengt, in *0,5 bis 13*^{m} Mächtigkeit; unter dieser liegt fetter, weicher Thon in *0,5 bis 2*^{m} Mächtigkeit und unter diesem fetter, trockener Thon in grosser Mächtigkeit. Zwischen und über dieser Schicht kommen verschiedene wasserführende sandige Thonschichten, sowie unregelmässige Nester feinen Sandes und verwitterte Vegetabilien vor. Nach Aufführung des Dammes *A* auf dem geneigten Terrain bewegten sich die oberen Schichten bis zu einer Entfernung von *200*^{m} von der Bahnaxe, was ein gänzliches Abrutschen des Dammes zur Folge hatte. Man beabsichtigte, am Fusse des Dammes eine Futtermauer anzulegen und diese auf festen Schichten zu gründen; ein bis zu *12*^{m} Tiefe abgeteufter Schacht zeigte aber, dass die festen

Schichten viel zu tief lagen. Man hob daher zum Zwecke einer Entwässerung der abrutschenden Schichten und um das Terrain gegen den Druck der Dammschüttung widerstandsfähiger zu machen, *3 bis 5ᵐ* tiefe Gräben bis zu mindestens *0,6ᵐ* unter der Rutschfläche aus und füllte sie bis zu etwa *1,2ᵐ* Höhe mit Steinen aus; dieselben sind in Fig. 235 mit einfachen punktirten Linien angegeben; zu gleichem Zwecke wurden auch die Stollen *C* an den Stellen angelegt, wo sich die stärksten Wasseransammlungen zeigten. In der That wurde hierdurch eine grosse Wassermenge gelöst. Trotzdem entstanden, als der Damm nunmehr bis zu *5ᵐ* Höhe wieder angeschüttet war, starke Bewegungen, und man entschloss sich desshalb, die Bahn um etwa *28ᵐ* weiter nach aufwärts, wo sich ein günstigeres Terrain vorfand, zu

Fig. 235.



Bebra-Hanauer Bahn. — Damm am Bahnhof Schlüchtern. — 1/1000 und 1/2000 n. Gr.

verschieben, wo nunmehr ein neuer Damm *B* geschüttet wurde, nachdem vorher die Entwässerungsstollen *D* angelegt waren. Nachdem aber nach der Eröffnung der Bahn anhaltender Regen eintrat, entstanden abermals starke Verschiebungen des Terrains und Dammes, wodurch auch die vorher angelegten Entwässerungen zerstört wurden. Man entschloss sich nun, an derselben Stelle *B* einen neuen Damm aus Steinmaterial zu schütten, um hierdurch die weichen Massen des alten Dammes und Terrains zu verdrängen und den Steindamm bis in den festen Untergrund einzudrücken. Zur Abführung des Wassers wurde um die Rutschung herum der Stollen *E* mit Querschlägen im festen Terrain angelegt. Um nicht durch Ansammlungen von Wasser in den Verdrückungen unterhalb des Dammes weitere Rutschungen herbeizuführen, wurden hier noch nachträglich die Stollen *P* angelegt. Diese Anlagen waren endlich von Erfolg.

XV. Kapitel.

Entwässerungen.

§. 163. Zweck der Entwässerungen. Aus dem bisher Gesagten ist zu entnehmen, dass das Wasser die hauptsächlichste Ursache der Zerstörungen der Erdbauten ist, dass also Entwässerungen (franz. *l' assainissement, le dessèchement, le drainage,* engl. *the drainage, draining*) im Erdbaue eine ausserordentlich wichtige Rolle spielen. Aus diesem Grunde wollen wir die Entwässerungen, obwohl wir bereits Vieles über dieselben gesagt haben, nochmals im Zusammenhange und ergänzend behandeln.

Der specielle Zweck der Entwässerungen, mit Ausnahme der beim „Oberbau" zu behandelnden Entwässerung der Planie, ist hauptsächlich:

I. Im Allgemeinen.

1. Abführung des Wassers von der Erdoberfläche.

2. Entwässerung des vom Wasser erweichten Bodens durch Sickergräben, Sickerschlitze, Stollen und Schächte.

3. Abführung des Wassers von bestimmten wasserführenden Schichten in gleicher Weise.

II. Für Einschnitte.

4. Abführung des Wassers, welches von der Planie, dem dicht darunter liegenden Boden, von den Böschungen u. s. w. kommt, durch Seiten- oder Einschnittsgräben.

5. Abhaltung des vom Terrain herablaufenden Wassers von den Böschungen durch Saumgräben.

6. Abführung des aus dem Innern oder aus den Saumgräben oder von den Bermen kommenden Wassers durch Abfallrinnen.

III. Für Aufträge.

7. Abführung des Wassers aus dem Innern des Dammkörpers durch Sickerkanäle oder Sickerschichten aus Steinen, Steinfaschinen oder Dränröhren (vgl. §. 153.).

8. Abführung des von der Planie und aus den etwaigen im Innern angelegten Sickerungen kommenden Wassers über die Böschung durch Abfallrinnen.

9. Abhaltung des auf dem geneigten Terrain ablaufenden Wassers vom Damme durch Fussgräben.

Das sich in dieser Weise sammelnde Wasser muss natürlich nach einem Orte, wo es unschädlich ist, abgeleitet werden. Gewöhnlich leitet man es in die in der Nähe befindlichen Gewässer oder in nur zeitweise mit Wasser gefüllte Gerinne. Zuweilen kann man geringe Wassermengen direkt auf Felder und Wiesen leiten. Bei geringen Wasser-

mengen kann man wohl auch auf das Verdunsten des Wassers in den Gräben oder Sammelbassins oder auf das Einsickern in durchlässigem Boden rechnen. Die nöthigen Dispositionen hängen natürlich ganz von den Oertlichkeiten ab.

Sehr häufig ist das aus den verschiedenen Entwässerungen kommende oder direkt in Mulden herabströmende Wasser durch den Damm oder unter einer Einschnittsplanie hinweg zu leiten, wozu die sogen. Durchlässe, Dohlen oder Schleussen dienen, die indess hier nur erwähnt sein mögen.

§. 164. Entwässerung der Erdoberfläche. In allen Fällen, wo man es mit leicht erweichendem Boden oder mit natürlichen Rutschflächen zu thun hat, muss man dahin trachten, dass sich das Wasser in der Nähe der Bahn nicht in grösseren Mengen auf der Erdoberfläche ansammeln kann. Hierzu sind etwaige Vertiefungen, welche dem Wasser gar keinen oder nur einen langsamen Abfluss gestatten, durch eine Planirung auszufüllen, oder es sind Abzugsgräben anzuordnen. Ebenso sind bereits versumpfte Stellen zu entwässern. Unter Umständen kann es selbst geboten erscheinen, Bäche durch Ablenkungen in eine grössere Entfernung von der Bahn zu bringen.

Beispiel. Taf. V, Fig. 1 zeigt einen Theil des Terrains der ungarischen Ostbahn. Die Lehne, aus Lehm bestehend, war seiner Zeit von den Bergen gegen das Thal herabgeflossen und zeigte sich auch jetzt noch in hohem Grade verworren und verworfen, mit zahlreichen Einsenkungen ohne oberirdischen Wasserabfluss und direkt versumpften Stellen. Es wurde getrachtet, Auf- und Abträge möglichst zu vermeiden, also nur Anschnitte zu bilden, was mit Ausnahme eines Einschnittes und eines Dammes auch gelang. Die hohen Kosten einer durchgreifenden Entwässerung führten dazu, dass nur der Damm und der Einschnitt sorgfältiger behandelt, im Uebrigen aber ein ausgebreitetes Netz von Gräben (auf *500 Met.* Bahnlänge *3500 Met.* Gräben) angelegt wurde, durch welches jede, noch so geringfügige Vertiefung und jede moorige Stelle bis zum Bergkamme hinauf entwässert wurde. Die Gräben erhielten $1\frac{1}{2}$*fache* Böschung und wurden an den Böschungen mit Flachrasen belegt. Reichlich angebrachte Objekte erleichterten den schnellen Abzug des Wassers. Die Bodenuntersuchungen erstreckten sich trotzdem auf den ganzen Lehnentheil und gestatteten, einen zusammenhängenden unterirdischen Schichtenplan anzufertigen, um noch nachträglich, wenn sich etwa die Nothwendigkeit ergeben sollte, ohne Zeitversäumniss Entwässerungsprojekte durchführen zu können.

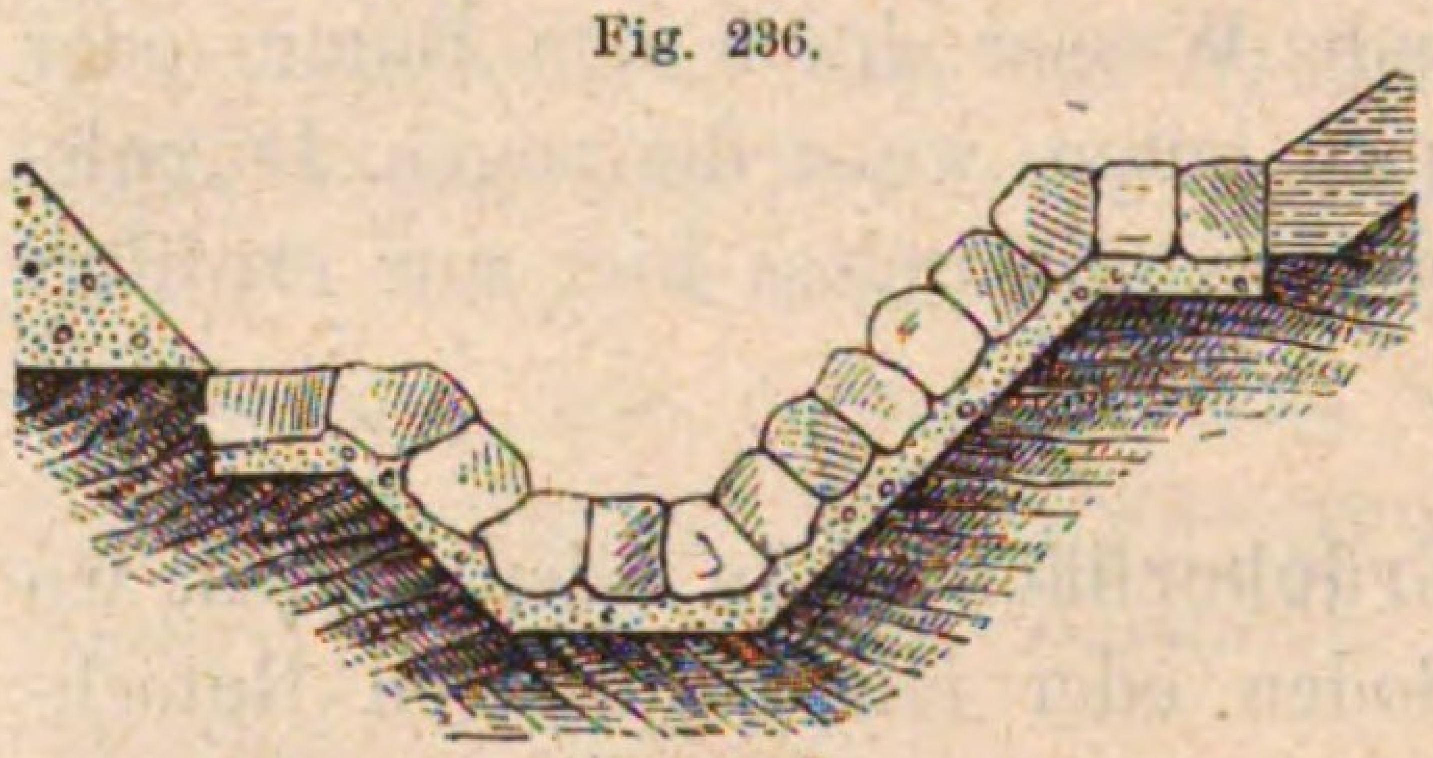
§. 165. Einschnittsgräben. Die Sohle der Einschnitts- oder Seitengräben (franz. *le fossé de la tranchée, la rigole laterale*, engl. *the side-drain*) muss natürlich noch unter der Bettungssohle liegen; es genügt, sie etwa $0{,}2^m$ unter die neben den Gräben befindliche Bettungssohle zu legen.

In den gewöhnlichen Fällen gibt man den Gräben eine Tiefe von

0,6 bis 0,8^{m}; eine Tiefe von *0,75*^{m} dürfte für Hauptbahnen am geeignetsten sein.

Die Sohlenbreite macht man *0,3 bis 0,6*^{m}; eine Breite von *0,3*^{m} genügt aber meist. Bei einer Einfassung durch eine oder zwei Futtermauern würde etwa *0,4*^{m} oder *0,5*^{m} Sohlenbreite anzuwenden sein. Nur wenn der Graben eine besonders grosse Wassermenge abzuführen hat, sind grössere Querschnittsdimensionen anzuwenden. Ebenso ist bei Felseinschnitten mit steilen Wänden eine grössere Breite zweckmässig, damit sich lösende Felsstücke nicht so leicht auf die Planie gelangen, wohl auch, damit sich nöthigenfalls nachträglich noch eine Verkleidungsmauer für den Felsen einziehen lässt, ohne neue Sprengarbeiten nöthig zu haben.

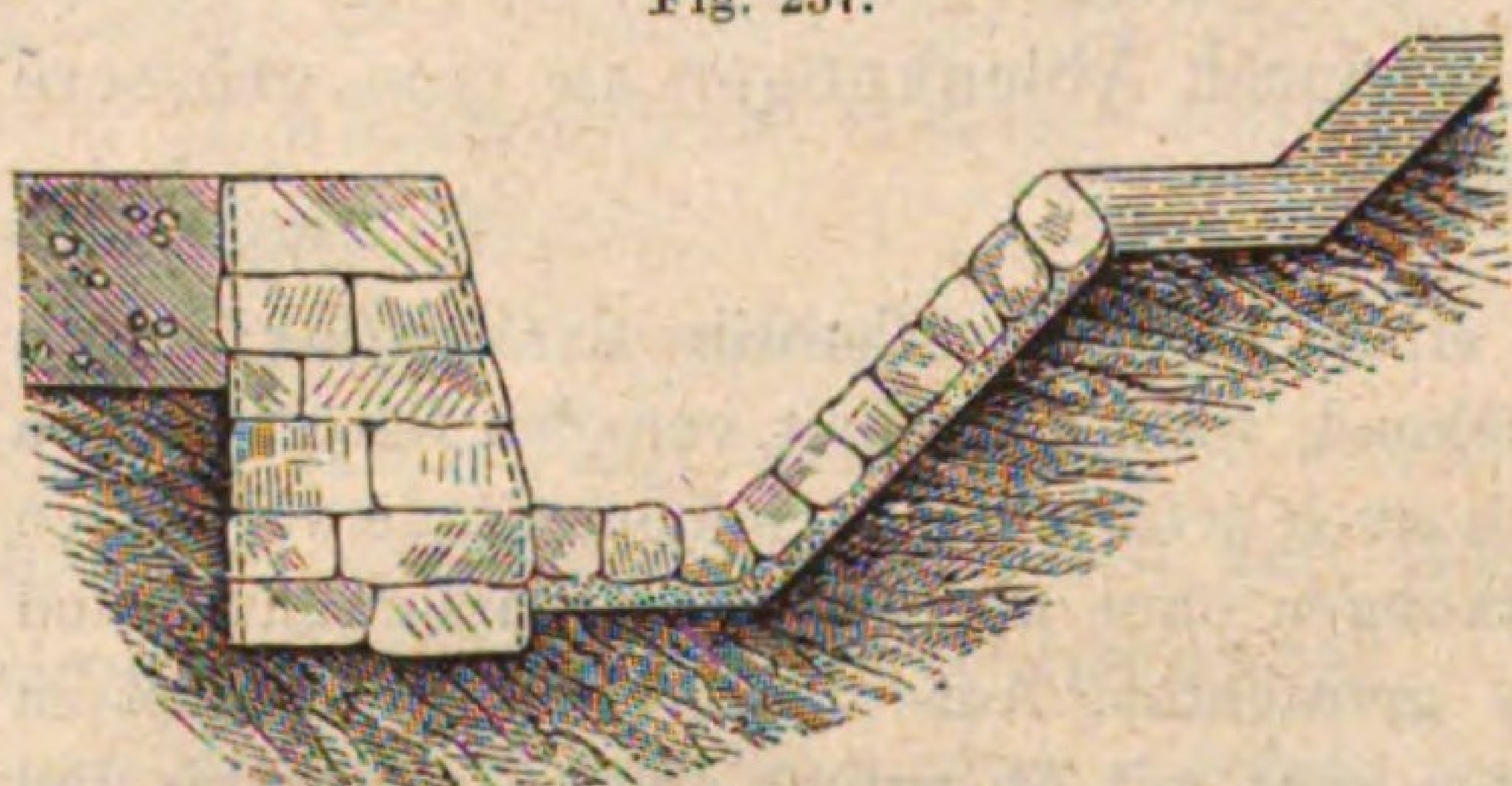
Fig. 236.



$^1/_{50}$ nat. Gr.

Die Figuren 298 bis 300, sowie die Figuren 302 bis 306 des I. Heftes (III. Aufl.) zeigen verschiedene Anordnungen.

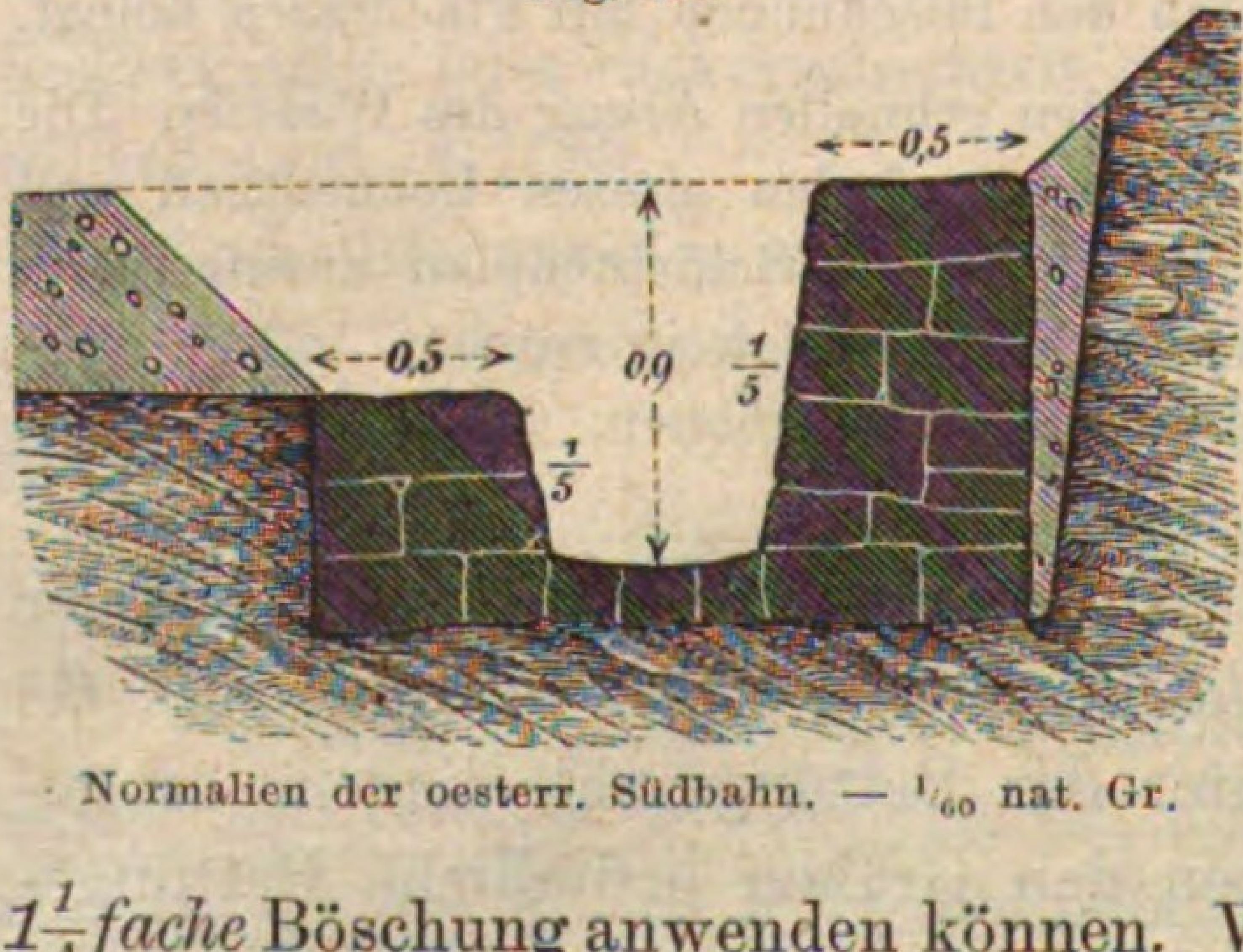
Fig. 237.



$^1/_{50}$ nat. Gr.

Das Längsgefälle muss mindestens $\frac{1}{600}$ sein; jedoch ist ein grösseres Gefälle zweckmässig. Hat die Bahn nicht selbst das nöthige Gefälle, so erhält der Graben eine veränderliche Tiefe, natürlich auch eine veränderliche Breite. Scheint die hierzu erforderliche Verbreiterung des ganzen Einschnittes wegen zu grosser Tiefe desselben, wegen zu kostbaren Landes etc. nicht rathsam, so ordnet man unter dem Einschnittsgraben noch einen gedeckten Kanal mit dem entsprechenden Gefälle an.

Fig. 238.

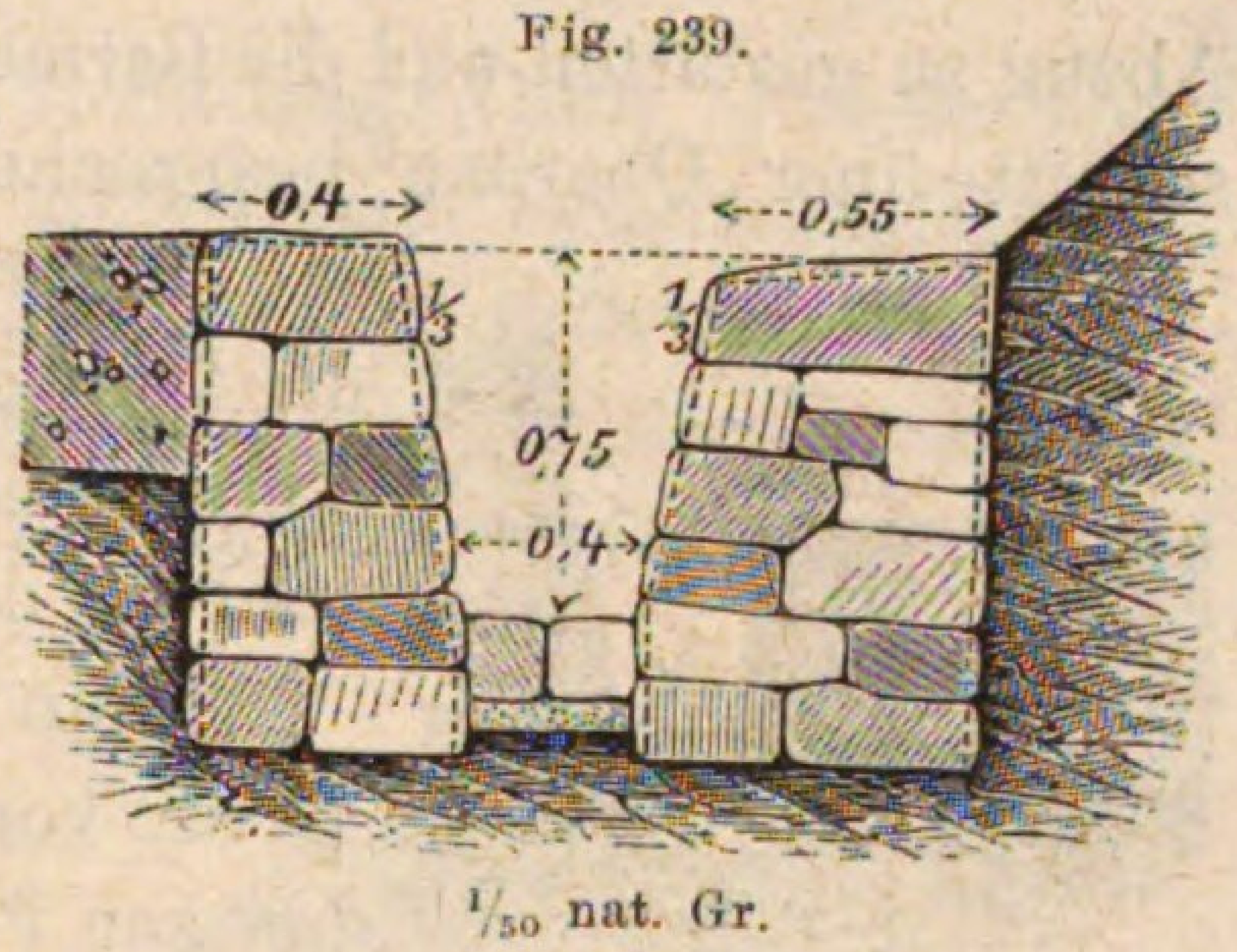


Normalien der oesterr. Südbahn. — $^1/_{60}$ nat. Gr.

Die Gräben werden im Allgemeinen mit Rasen belegt. Die innere Böschung wird beim deutschen Bettungssysteme ganz, beim englischen nur unter der Bettungssohle mit Rasen belegt. Die äussere Seite erhält dieselbe Neigung, wie die anstossende Böschung, also $1\frac{1}{2}$ bis $1\frac{1}{4}$*fach;* auf der inneren Seite wird man meist $1\frac{1}{4}$*fache* Böschung anwenden können. Wenn das Gefälle nur klein $\left(\frac{1}{600} \textit{ bis } \frac{1}{400}\right)$ und die abzuführende Wassermenge gross ist, so ist eine Berasung un-

zweckmässig, weil sie den schnellen Wasserabzug hindert; hier ist eine Pflasterung oder in Ermangelung von Steinen eine Auskleidung mit Thon zweckmässig. Eine Pflasterung ist ausserdem immer dann zweckmässig, wenn das Wasser leicht Zerstörungen anrichtet, wie im Sande, namentlich aber im Lehm- und Thonboden. Auf der innern Seite bleibt zuweilen die Böschung ungepflastert, da hauptsächlich das Erweichen der äussern Böschung schädlich wirkt, weil es grössere Rutschungen veranlassen kann. Die Anlage eines gepflasterten Grabens in Triebsand (Fig. 132, S. 183) wurde bereits in §. 132 besprochen.

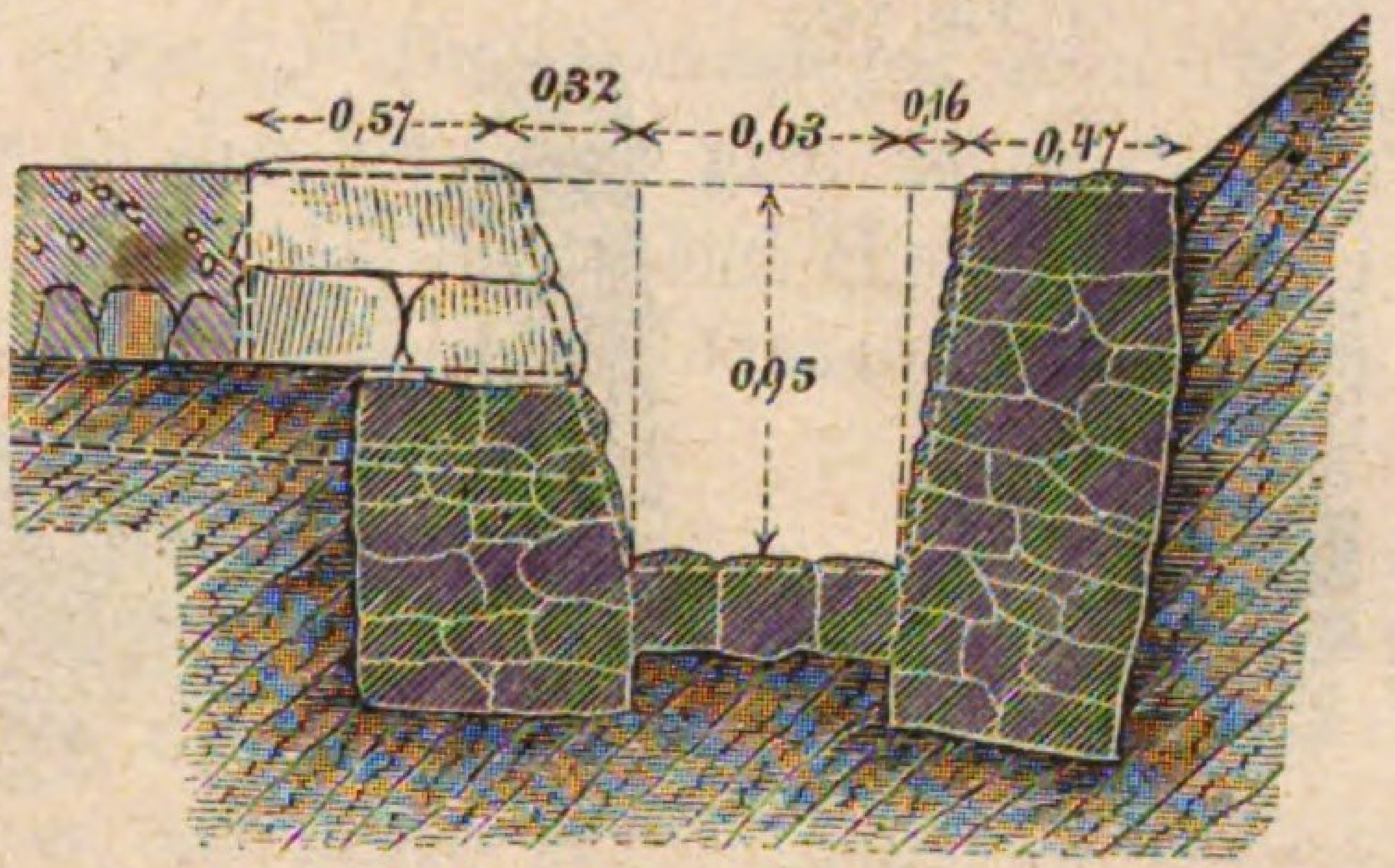
Fig. 239.



$^1/_{50}$ nat. Gr.

Häufig begrenzt man den Graben auf einer oder auf beiden Seiten durch trockene oder Mörtel-Mauern; zur Begrenzung der Bettung wendet man über der Bettungssohle am besten eine Trockenmauer an, um dem Wasser freien Abzug zu verschaffen. Der Zweck dieser Mauer ist hauptsächlich, eine geringere Breite des Einschnittes, hiermit also eine Ersparniss an Grunderwerb und Erdarbeit zu erzielen. Bezeichnen wir die Mehrkosten der Mauern gegenüber den gewöhnlichen Böschungen pro Längeneinheit mit a, die Verminderung der Gesammtbreite des Einschnittes mit b, die Höhe des Einschnittes mit h, die Kosten der Flächeneinheit des Grundes mit p und die Kosten der Volumeneinheit des Einschnittes mit q, so sind Mauern von Vortheil, wenn $a < bp + bhp$ oder

Fig. 240.

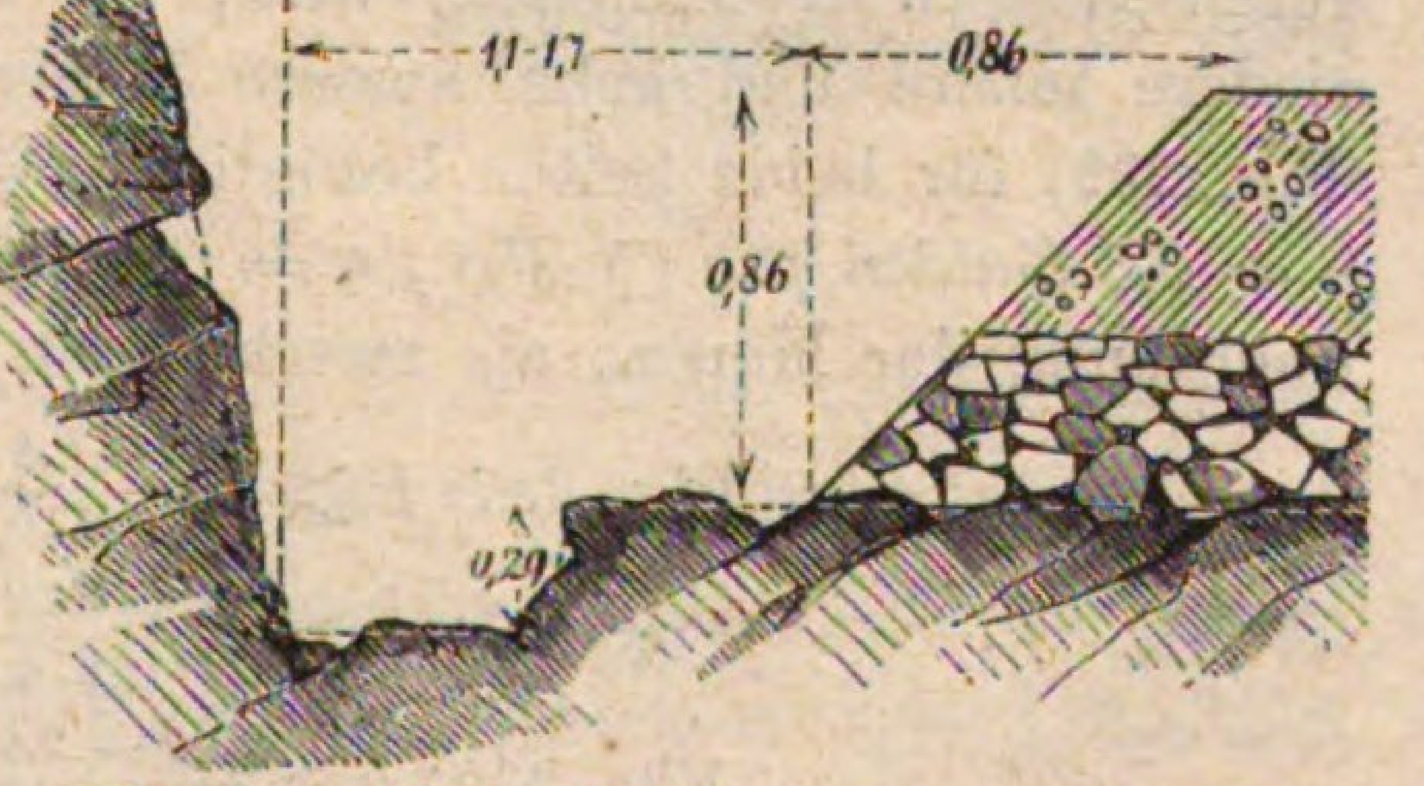


Brenner-Bahn. — $^1/_{50}$ n. Gr.

$$h > \frac{a-bp}{bq} \text{ oder } > \frac{a}{bq} - \frac{p}{q}$$

ist. Hieraus folgt also, dass Mauern erst zweckmässig werden, wenn die Einschnittstiefe ein gewisses Maass überschreitet, was sich in jedem speciellen Falle bei gegebenen Einheitspreisen berechnen lässt. Für Felseneinschnitte gibt die Anordnung einer inneren Mauer (Fig. 242 bis 244) stets eine Ersparniss. Bei

Fig. 241.

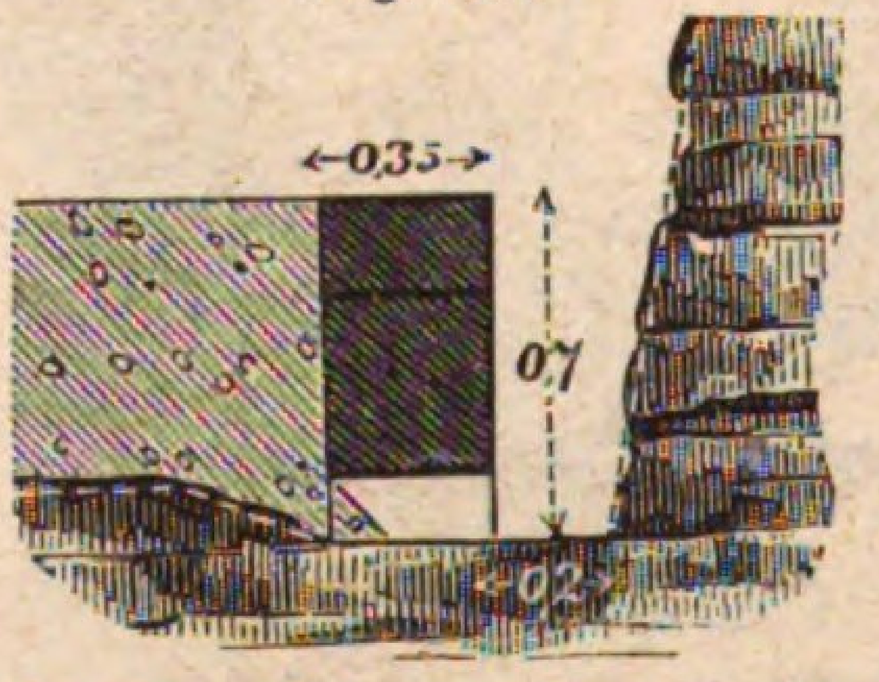


Württembergische Staatsbahn. — $^1/_{50}$ nat. Gr.

lehmigem und thonigem Boden hat man gemauerte Gräben indess auch angewendet, um das Wasser weniger eindringen zu lassen und der Böschung eine festere Stütze zu bieten.

Auf der inneren Seite wendet man oft eine nur sehr niedrige, bis zur Sohle der Bettung reichende Mauer an (Fig. 238), um dem Wasser freieren Abzug zu gestatten und die Bermen neben der Bettung, deren Zweck im Abschnitte über „Oberbau“ besprochen wurde, konstant durchführen zu können.

Fig. 242.

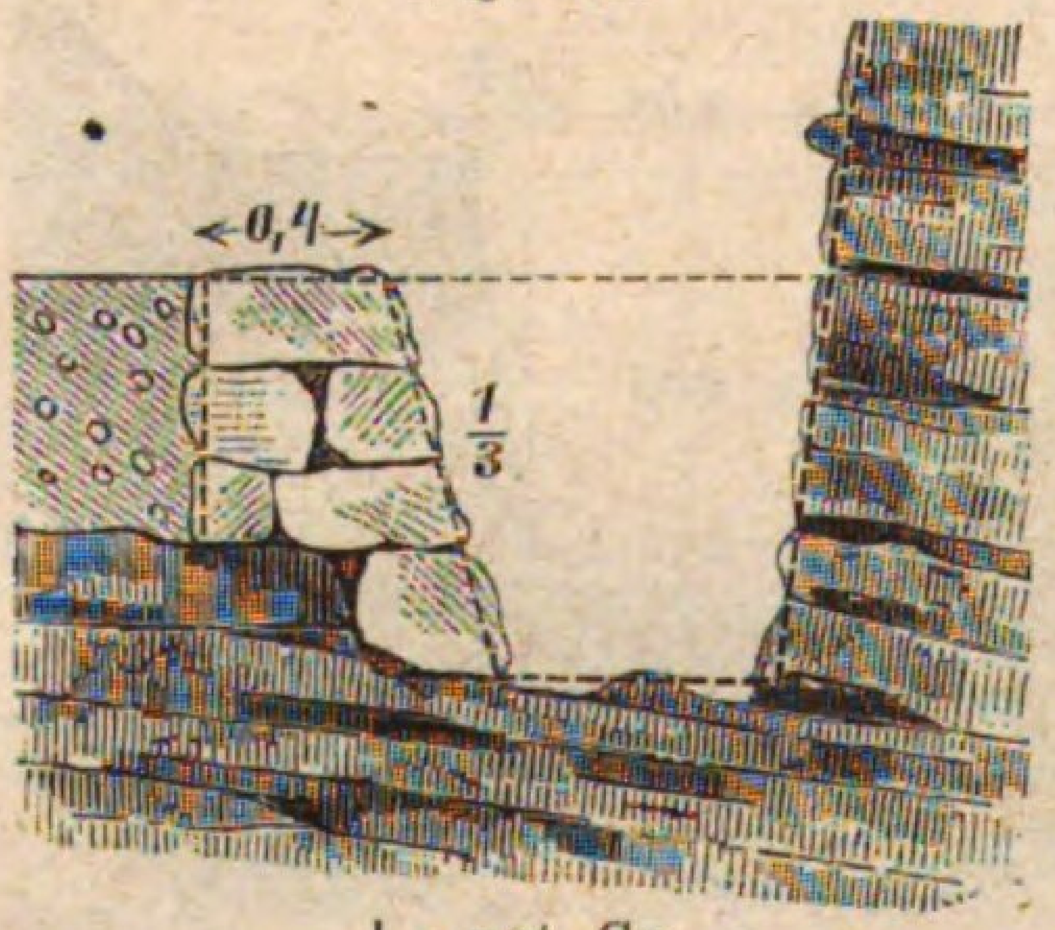


Französ. Bahnen. 1/50 nat. Gr

Mehrfach hat man wohl auch in Kurven auf der konvexen Seite Mauern angewendet, um einem Verschieben der Gleise mehr vorzubeugen. Indess sind zu diesem Zweck Mauern nicht nöthig.

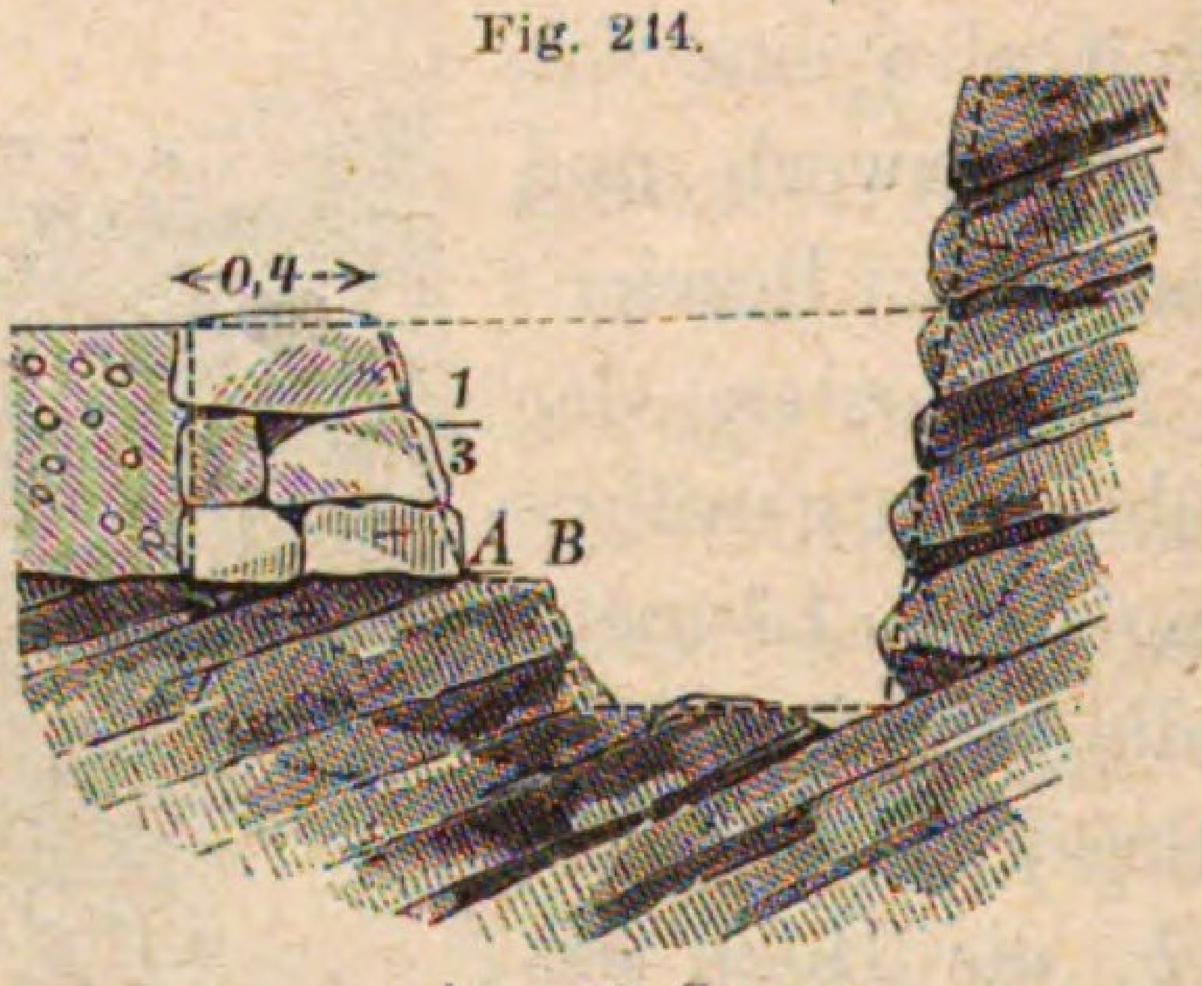
Man kann etwa den inneren Mauern eine obere Breite von $0{,}40^m$, den äusseren Mauern, wenn sie nur bis zur Planiehöhe geführt werden, des grösseren Erddruckes wegen eine obere Breite von $0{,}55^m$ geben. Als Anlage wählt man für Trockenmauern meist $\frac{1}{3}$, für Mörtelmauern bei den vorliegenden kleinen Höhen $\frac{1}{5}$ der Höhe.

Fig. 243.



1/50 nat. Gr.

Fig. 244.



1/50 nat. Gr.

Zwischen dem Graben und der Einschnittsböschung ordnet man häufig eine Berme von etwa $0{,}5^m$ Breite an, um das von den Böschungen herabrollende Material nicht so leicht in die Gräben gelangen zu lassen, sowie zum Ablagern des Schlammes beim Reinigen der Gräben. Wenn ein Abbröckeln des Materials nicht zu befürchten oder die Böschung nur niedrig ist, so kann die Berme wegbleiben. Ebenso hat die Berme neben steilen Felsenböschungen keinen rechten Zweck.

Zur Bestimmung der Einschnittstiefe, für welche eine Begrenzung der Gräben durch Mauern zweckmässig wird, sei für eine einseitige Mauer (Fig. 237), eine niedere innere und hohe äussere Mauer (Fig. 238) und zwei gleichhohe Mauern (Fig. 239) für beide Seiten bezüglich $a = 5,\ 9,\ 12$ *Gulden*, $b = 0{,}8\ \ 1{,}2\ \ 2{,}0$ *Meter*, $p = 0{,}3$ *Gulden pro* □ *Met.*, $q = 0{,}5$ *Gulden pro Kubikmet.* Aldann ergibt sich die Anordnung der Mauern als zweckmässig für:

$$\text{Fig. 237: } h > \frac{5{,}0 - 0{,}8 \cdot 0{,}3}{0{,}8 \cdot 0{,}5},\ d.\ i. > 11{,}9\ \textit{Meter},$$

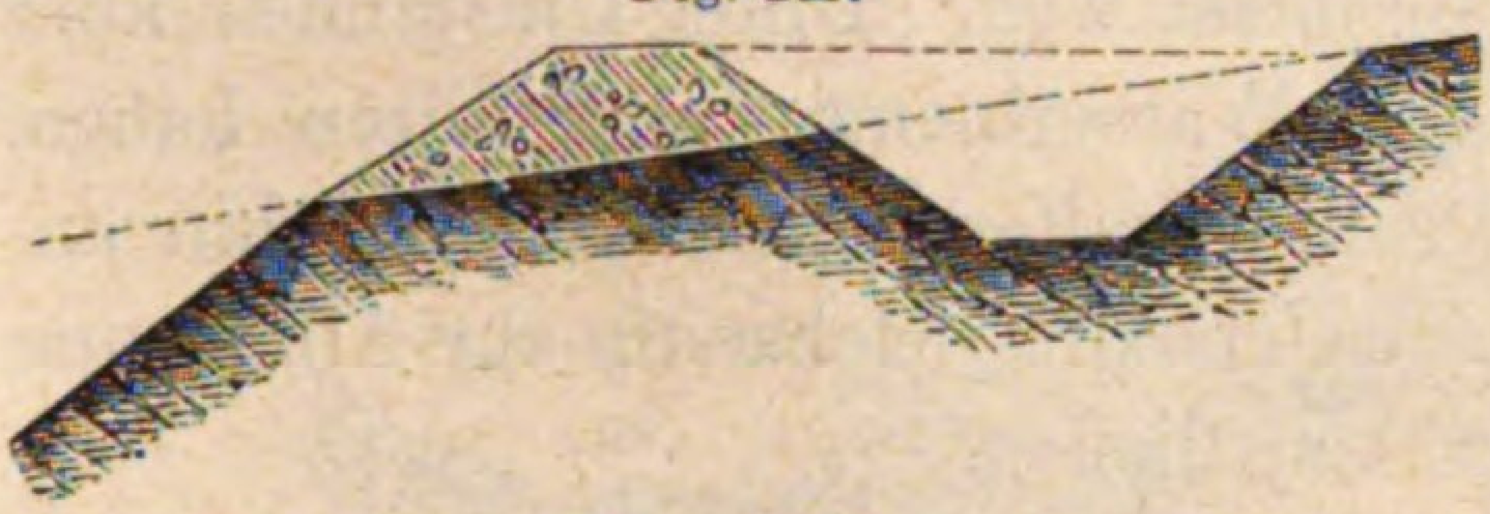
$$\text{Fig. 238: } h > \frac{9{,}0 - 1{,}2 \cdot 0{,}3}{1{,}2 \cdot 0{,}5},\ d.\ i. > 14{,}4\ \textit{Meter},$$

$$\text{Fig. 239: } h > \frac{12{,}0 - 2{,}0 \cdot 0{,}3}{2{,}0 \cdot 0{,}5},\ d.\ i. > 11{,}4\ \textit{Meter}.$$

In den Normalien der oesterr. Südbahn ist die Breite der Grabensohle an einer Felsenböschung von der Höhe *h* zu *0,5 + 0,1 h* angenommen. In denen der oesterr. Nordwestbahn ist diese Breite neben niederen Felsenböschungen zu *0,40^m^*, neben höheren Böschungen unter *7^m^* Höhe zu *0,65^m^* und neben solchen über *7^m^* Höhe zu *1,15^m^* angenommen.

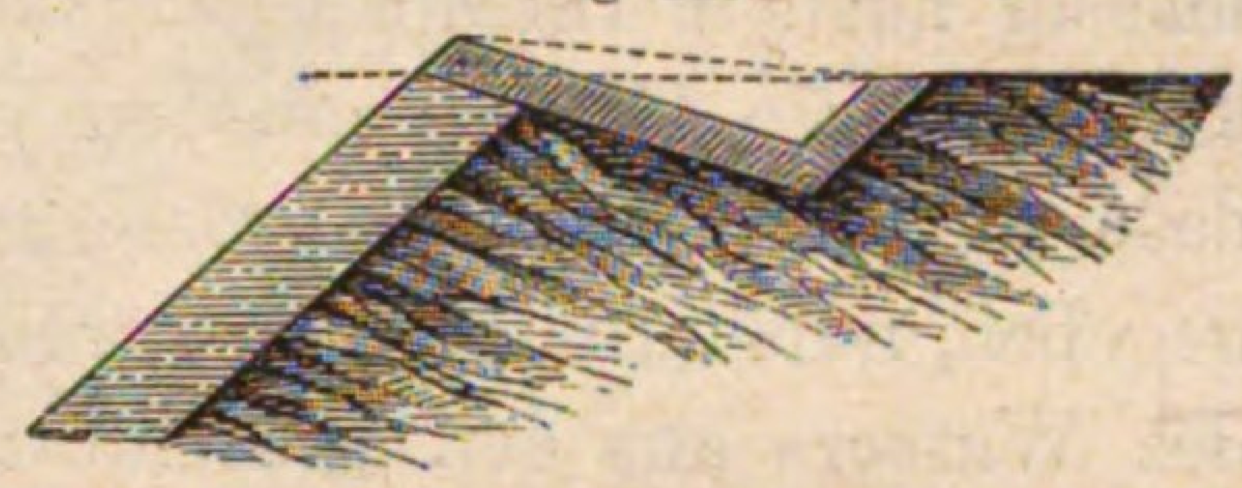
§. 166. Saum- und Fussgräben. 1. Saumgräben. Für die oberhalb der Einschnittsböschungen an der abfallenden Seite anzulegenden Saumgräben (franz. *le fossé en amont*, engl. *the catchwater-drain*) genügen meist geringere Querschnittsdimensionen, als für die Einschnittsgräben. In den meisten Fällen wird eine untere Breite von *0,3^m^* und

Fig. 245.



$^1/_{50}$ nat Gr

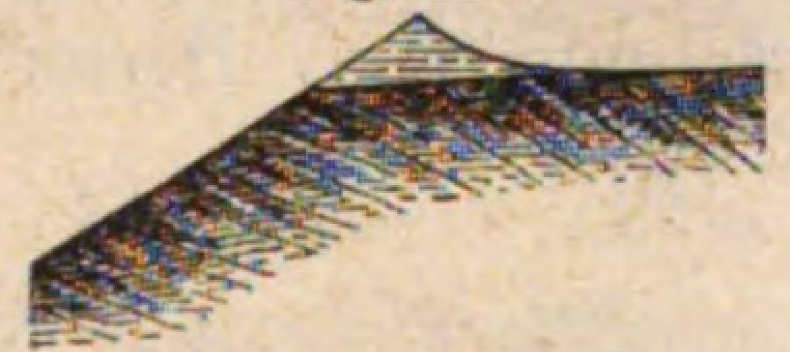
Fig. 246.



$^1/_{50}$ nat. Gr.

eine Tiefe von *0,3 bis 0,5^m^* genügen. Zwischen dem Graben und der Böschung würde eine Berme von etwa *0,5^m^* Breite anzulegen sein. Man bildet diese Gräben zweckmässig in der Art, dass man zwischen dem Graben und der Böschung einen kleinen Auftrag anlegt (Fig. 245). Bei geringen Wassermengen genügt selbst die blosse Bildung eines kleinen Auftrages (Fig. 247). In Frankreich gibt man den Saumgräben, entsprechend den Böschungsbermen, häufig ein dreieckiges Profil (Fig. 246) von etwa *1^m^* Gesammtbreite und *0,2^m^* Tiefe. Diese Gräben bieten den Vortheil, dass sie sich leichter mit Rasen belegen lassen und eine geringere Gesammtbreite erfordern, als die Gräben von der gewöhnlichen Form, weil die Berme zwischen Graben und Böschung wegfällt. Bei grösseren Wassermengen würde indess doch die gewöhnliche Form vorzuziehen sein.

Fig. 247.



$^1/_{50}$ nat. Gr.

An den tiefsten Punkten der Saumgräben ist das Wasser durch Abfallrinnen in die Einschnittsgräben zu führen.

Fig. 248.

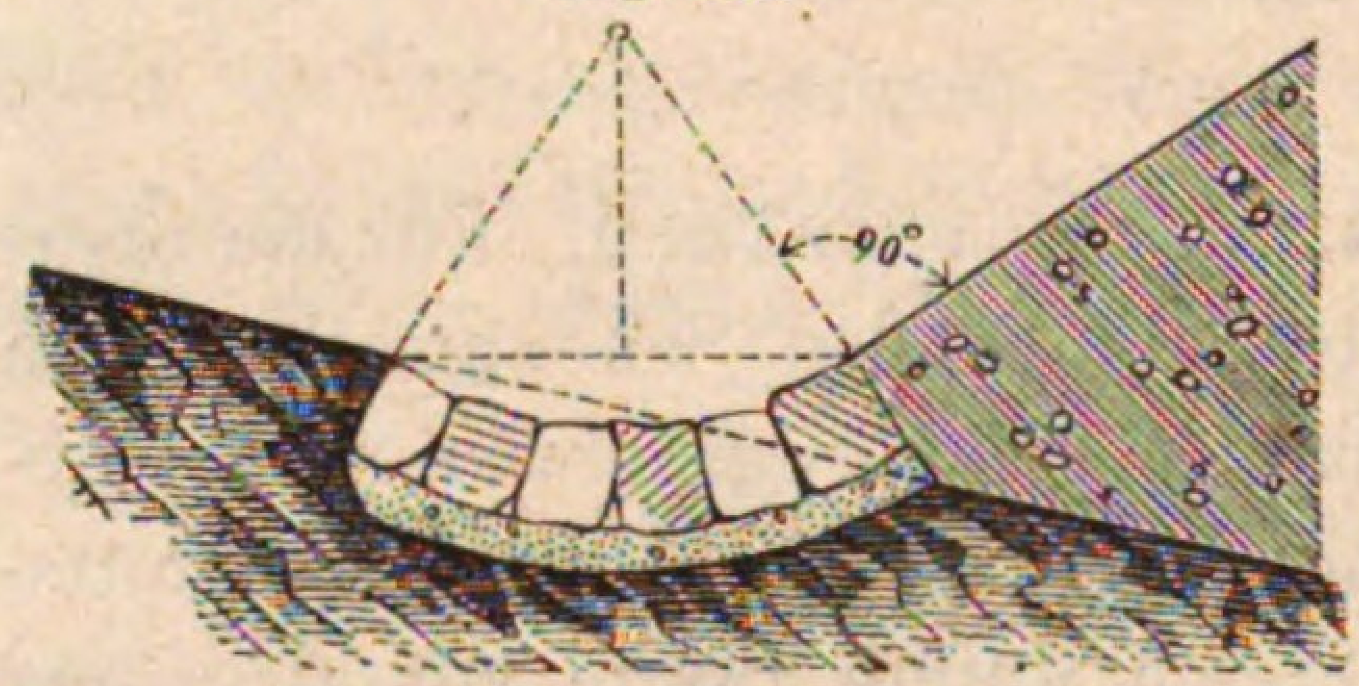


$^1/_{50}$ nat. Gr.

2. Fussgräben. Für die an dem Fusse der Auftragsböschungen auf der Bergseite anzulegenden Fussgräben (franz. *le fossé au pied*, engl. *the catschwater-drain*) genügen im Allgemeinen dieselben Dimensionen, wie für die Saumgräben. Zwischen dem Graben und der Böschung lässt man meist eine Berme von etwa *0,5^m^* Breite (Fig. 248); bei niedrigen Dämmen kann dieselbe wegbleiben.

Bei steilem Terrain ist es zweckmässig, statt dieser Gräben gepflasterte Mulden nach Fig. 249 anzulegen. Meistentheils wird es genügen, denselben etwa *1 Meter* Breite zu geben.

Fig. 249.



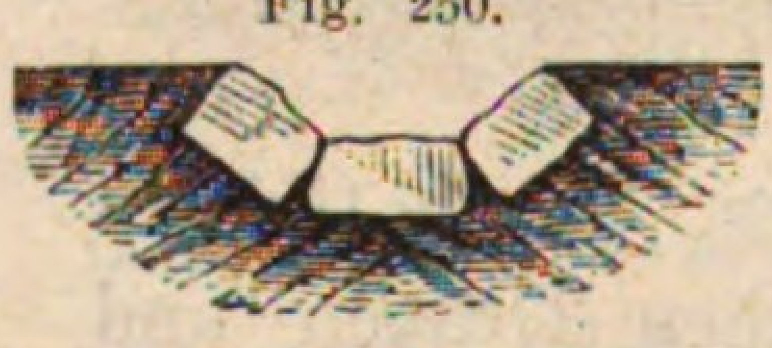
$^1/_{50}$ nat. Gr.

3. Allgemeines. Saum- und Fussgräben werden nur nothwendig, wenn das Terrain so steil ist, und das Terrain eine derartige Bildung hat, dass grössere Mengen des Regen- und Schmelzwassers wirklich nach der Bahn gelangen, ehe sie einsickern oder verdunsten. Bei verhältnissmässig flachem Terrain lässt man sie meist weg. Unter Umständen aber können diese Gräben eine so grosse Wassermenge abzuführen haben, dass sie ein wesentlich grösseres Profil erhalten müssen, als vorhin angegeben, namentlich die Fussgräben, welche oft gleichzeitig zur Abführung des Wassers aus den Einschnittsgräben dienen.

Diese Gräben werden ferner um so nothwendiger, je mehr das Wasser den Einschnittsböschungen oder dem Auftragsmateriale schädlich werden kann.

§. 167. Abfallrinnen. Die Abfall- oder Böschungsrinnen (franz. *la rigole de descente, le caniveau*, engl. *the chennel*), welche das Wasser von der Planie oder aus dem Innern der Aufträge und von den Saumgräben, Bermen und Sickergräben der Einschnitte quer über die

Fig. 250.



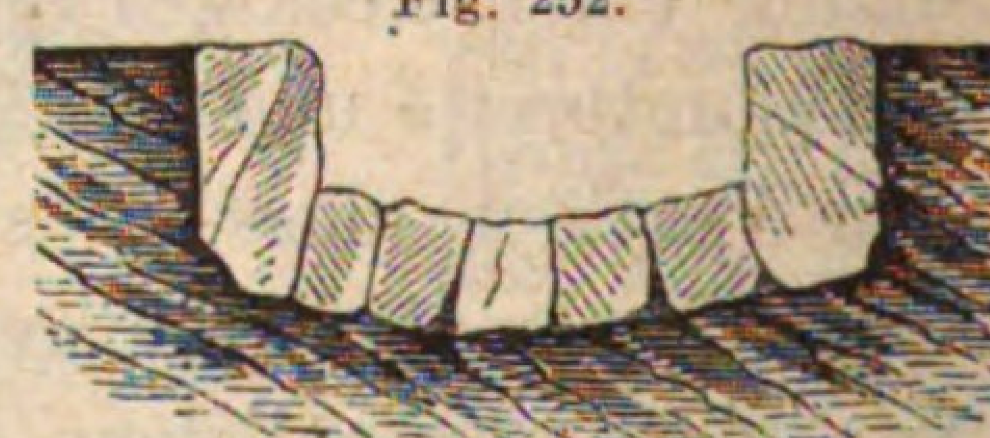
$^1/_{40}$ nat. Gr.

Fig. 251.



$^1/_{40}$ nat. Gr.

Fig. 252.



$^1/_{40}$ nat. Gr.

Böschung zu führen haben, können in der Regel wegen der grossen Geschwindigkeit des Wassers ein kleines Querprofil erhalten. Meist genügt schon *0,4 bis 0,5 Meter* Breite, *0,12 Meter* Tiefe. Unter Umständen können sie aber eine Breite von *1 Meter* und mehr erhalten müssen.

Meist stellt man sie als gepflasterte Mulden her (Fig. 250 bis 252). Einigermassen regelmässig bossirte Bruchsteine genügen; in Ermangelung solcher wendet man auch Ziegel an. Selbst besonders hierzu gefertigte Hohlziegel sind in Anwendung gekommen. Beim Boden, welcher sehr leicht erweicht, ist eine Unterlage von hydraulischem

Fig. 253.

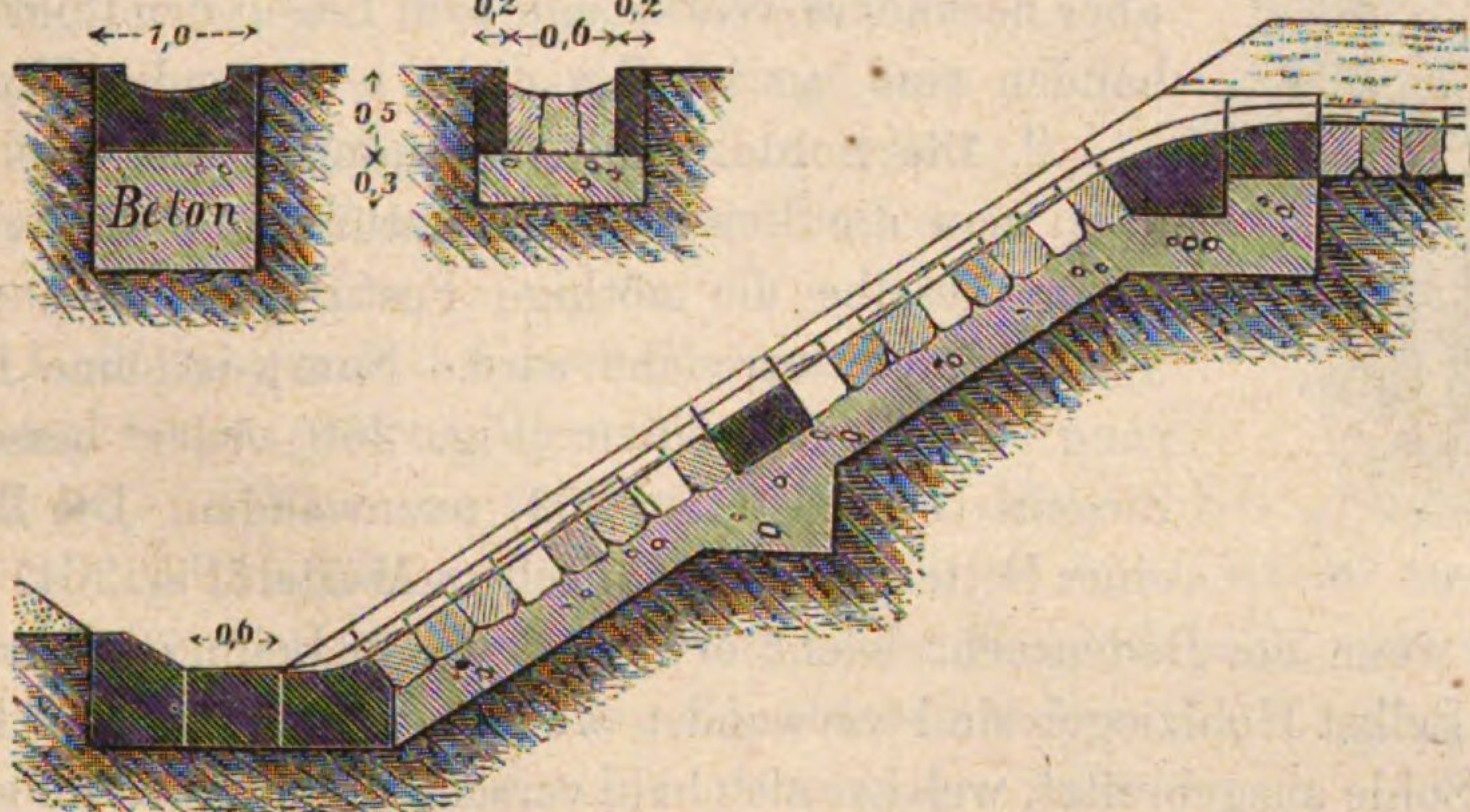


$^1/_{40}$ nat. Gr.

Beton zweckmässig (Fig. 253 und 254). Bei glitschigem Boden kann man an einzelnen Stellen grössere Steine oder auch den Betonkörper in das Terrain einbinden.

In Ermangelung von Steinen hat man auch Kopfrasen angewendet; die Rasenstücke werden in ähnlicher Weise, wie die Pflastersteine (Fig. 250) angewendet.

Fig. 254.



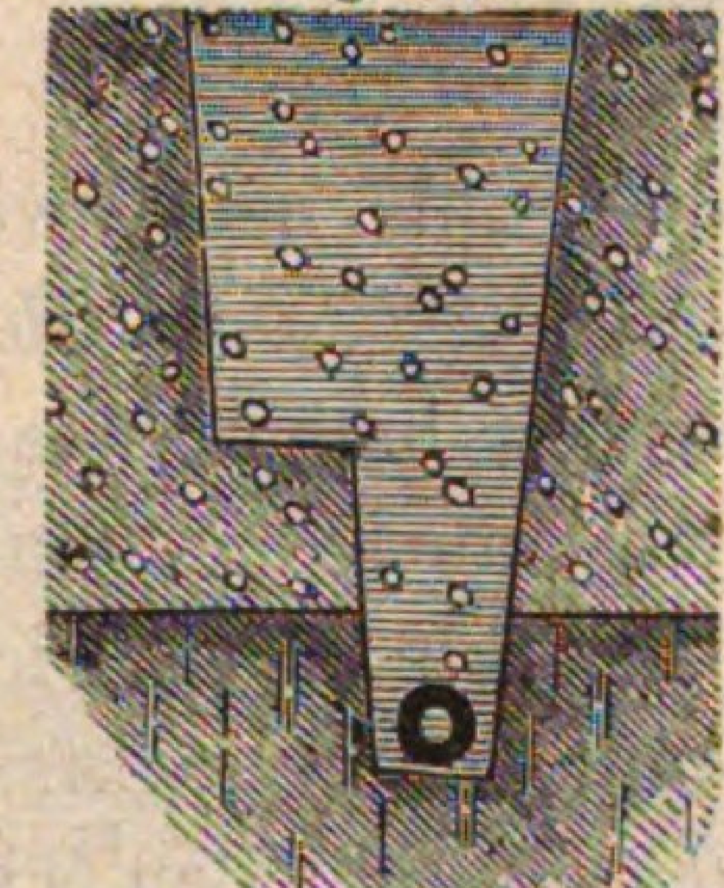
Schweizerische Nordostbahn. — $^1/_{100}$ n. Gr.

Auch hölzerne Abfallrinnen sind in Anwendung gekommen, namentlich bei Dämmen, bevor sich dieselben gehörig gesetzt haben. Für die Zeit der Ausführung ist es immer zweckmässig, derartige hölzerne Rinnen von etwa *25cm* Gesammtbreite, *10cm* Tiefe mit trapezförmigem Profile bei der Hand zu haben.

Die in steilen Felsenböschungen eingesprengten Abfallrinnen erhalten kaskadenartige Absätze und an ihrer Einmündung in den Einschnittsgraben ein festes Sturzbett.

§. 168. Sickergräben. Unter Sickergräben, Rigolen oder Dräns (franz. *la rigole*, *le drain*, engl. *the drain*) versteht man im Allgemeinen oben geschlossene Gräben, welche das Wasser aus dem Innern der Erdmassen aufzusaugen und abzuführen haben. Bei grösserer Tiefe nennt man diese Gräben auch Sickerschlitze. Man verwendet entweder eine Ausfüllung mit Steinen (Steinfilter) oder sogen. Dränröhren. Wir haben folgende Theile zu unterscheiden.

Fig. 255.

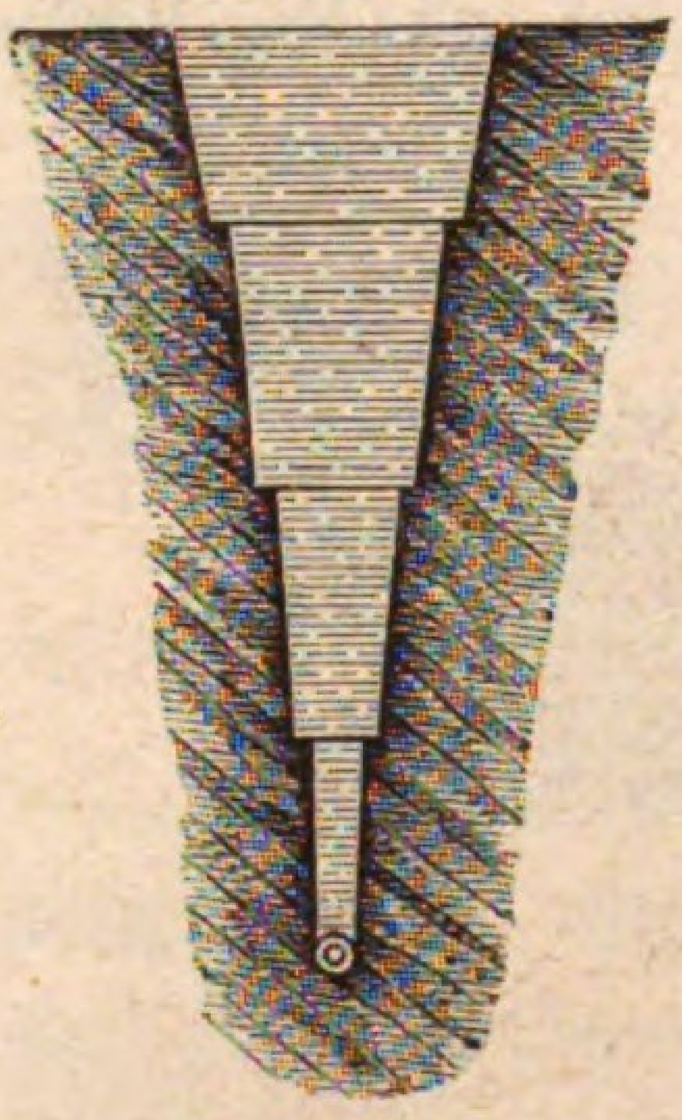


$^1/_{50}$ nat. Gr.

1. **Der Graben.** Die Wände des Grabens hält man so steil, als es die Festigkeit des Bodens und der zum Stehen der Arbeiter erforderliche Raum zulässt. Bei sehr losem Boden und bei grösserer Tiefe, auch schon bei festerem Boden ist eine Ausbölzung nothwendig. Im letzteren Falle hält man die Wände

meist vertikal (Fig. 257 und 258). Die obere Breite ist bei der Tiefe *t* etwa zu *0,15 + 0,25 t* anzunehmen; bei Tiefen über etwa *3,5 Met.* aber nimmt man die obere Breite nicht grösser als *1 Met.*, höchtens *1,5 Met.*

Fig. 256.



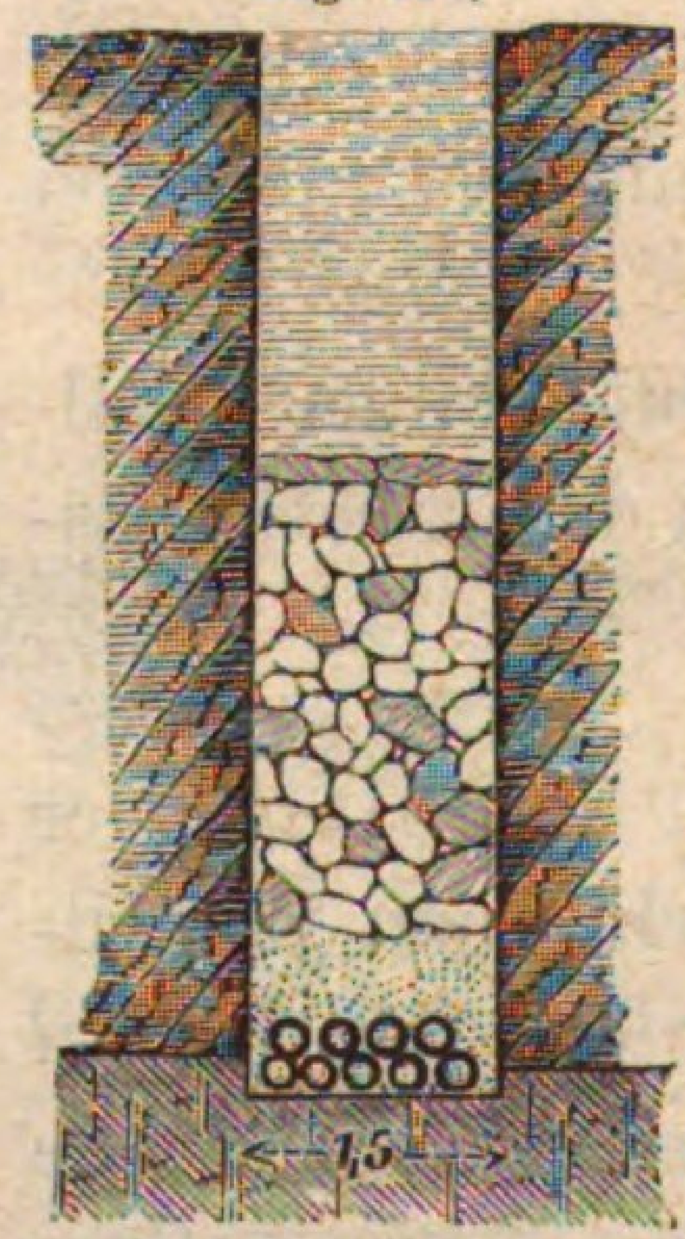
$^1/_{40}$ nat. Gr.

Zum Zwecke des Einlegens der Röhre ordnet man wohl auch in etwa *0,7 Met.* über der Sohle eine Berme zum Stehen von etwa *0,3 Met.* Breite an (Fig. 255); wenn aber besondere Werkzeuge zum Legen der Röhren vorhanden sind, so ist dies nicht nothwendig (Fig. 256).

2. **Die Sohle.** Bei Anwendung eines Steinfilters kann man die Steine auf die natürliche Sohle schütten, wenn dieselbe die nöthige Festigkeit hat und vom Wasser nicht erweicht wird. Sonst ist eine Pflasterung von Bruchsteinen (Fig. 260) oder besser aus Ziegeln (Fig. 261 und 262) anzuwenden. Die Bildung eines Bettes aus hydraulischem Mörtel (Fig. 261) ist nur nöthig, wenn der Boden sehr leicht erweicht, wie in Lehm und sandigem Thon. Selbst Hohlziegel sind verwendet worden. Auch hat man Reissig auf der Sohle ausgebreitet, welches sich bald verschlämmt und dann schützt.

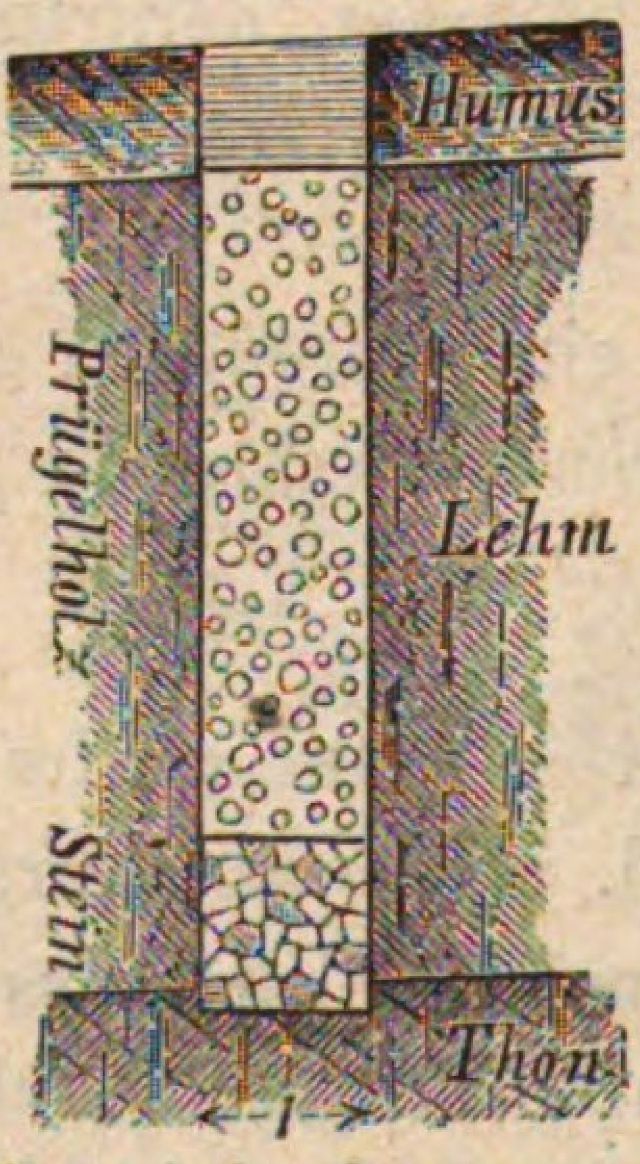
Die Breite der Sohle hängt von der Menge des abzuführenden Wassers ab; bei Anwendung von einfachen Dränröhren genügt eine untere Breite von etwa *0,06 Met.* (Fig. 256), zu deren Herstellung besondere Dränirungsspaten nothwendig sind; für 2 und 3 Röhren wird eine Breite von *0,12 Met.* genügen. Bei Anwendung einer Steinfüllung geht man nicht unter *0,25 bis 0,30 Met.* (Fig. 260 bis 262). Diese Breite genügt bei nicht zu tiefen Gräben auch meist für die Wasserabführung. Wendet man Ziegel zur Pflasterung der Sohle an, so bestimmen die Ziegeldimensionen die Breite; bei der in Fig. 261 und 262 gezeigten Anordnung wird die Sohle bei Anwendung von *0,10, 0,12, 0,14 Met.* Ziegelbreite ungefähr *0,25, 0,30, 0,35 Met.* breit. Bei tieferen Schlitzen muss man schon der Arbeit halber eine Breite von etwa *1 Met.* anwenden; grössere Breiten wird auch die Wassermenge selten fordern.

Fig. 257.



Linz-Budweiser Bahn. — $^1/_{150}$ n. Gr.

Fig. 258.



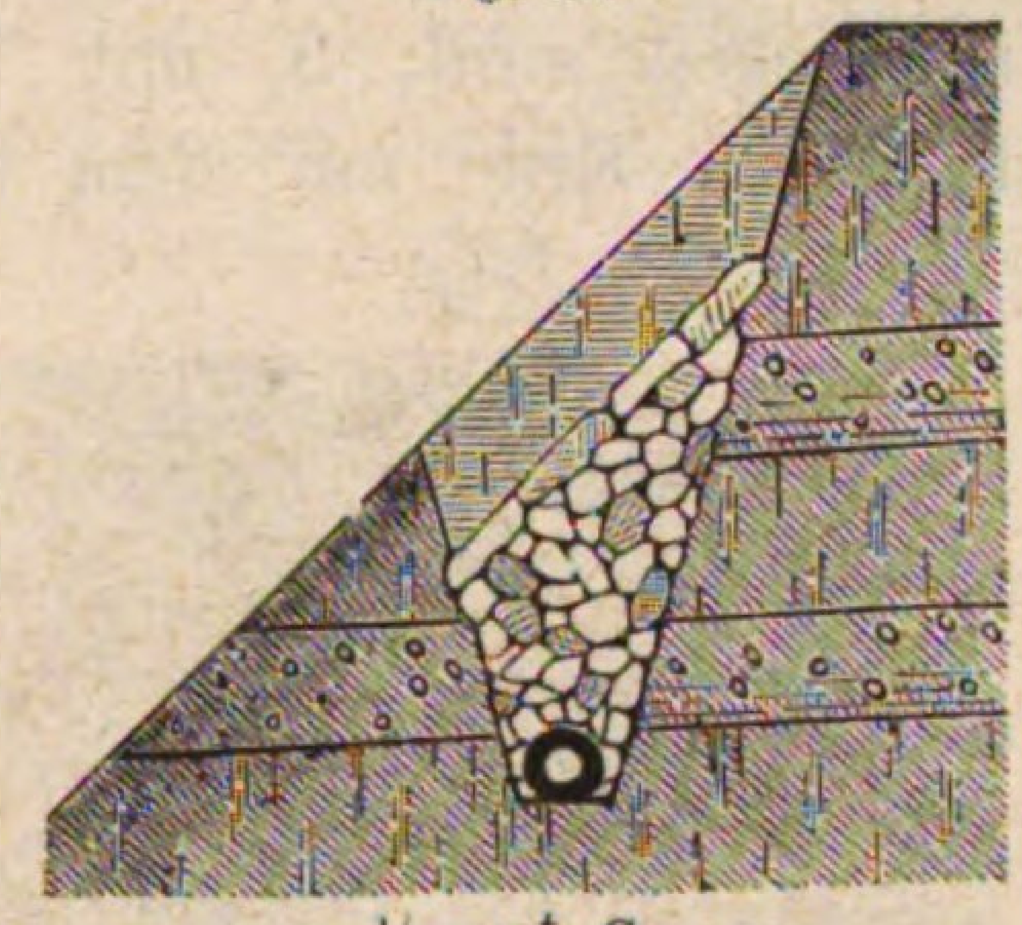
Ungarische Ostbahn. — $^1/_{150}$ n. Gr.

Handelt es sich um die Abführung des Wassers von der Oberfläche einer Thonschicht, so schneidet man den Graben mindestens um *0,2 bis 0,3 Met.* in den Thon ein.

3. **Ausfüllung.** Zur Ausfüllung verwendet man am besten runde

Steine, also Gerölle oder groben Kies; eine Dicke der Steine von etwa *5 bis 6^cm^* dürfte am passendsten sein. Zerschlagene Bruchsteine lassen sich natürlich ebenfalls anwenden, aber sie bieten dem Wasser einen etwas grösseren Widerstand. Erdige Beimengungen dürfen unter keinem Umstande vorhanden sein. Auch zerschlagene Ziegel und Schlacken lassen sich recht wohl anwenden. Am besten bringt man an die Seiten möglichst kleine Steine, selbst Kies, um ein Verschlämmen möglichst zu verhüten.

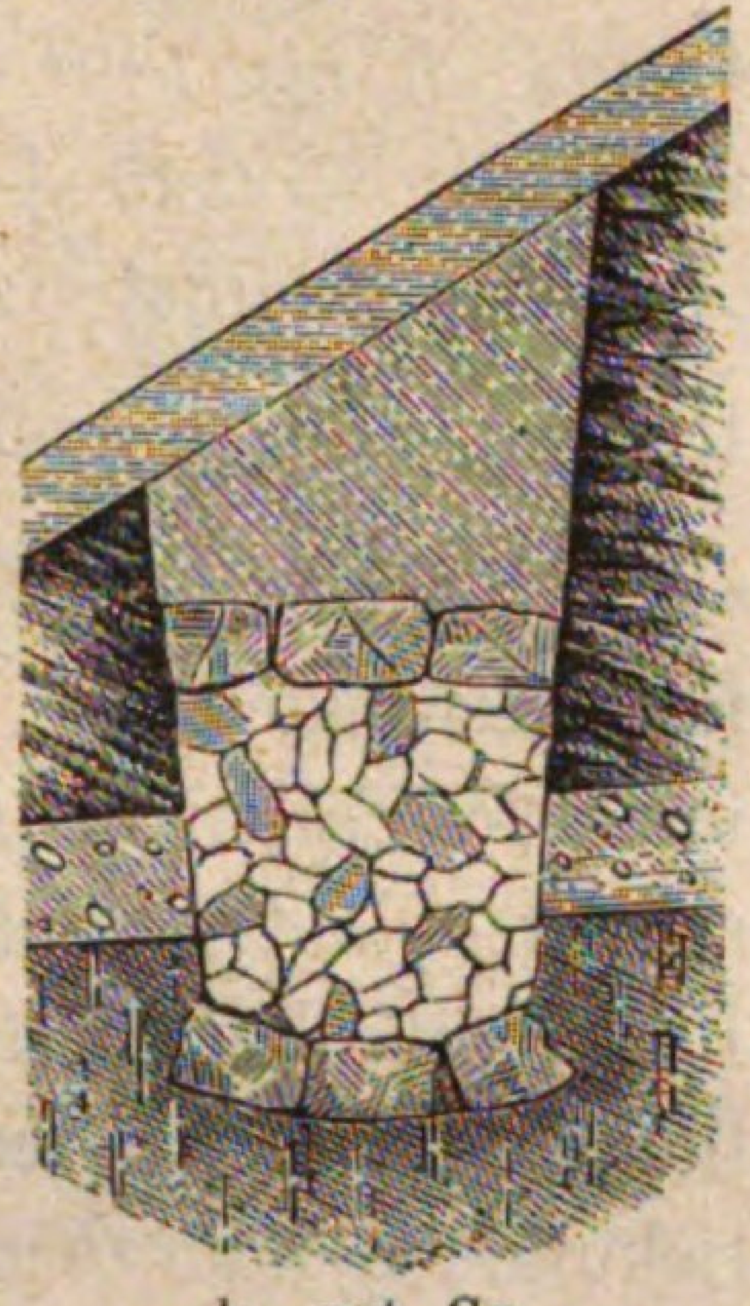
Fig. 259



$^1/_{30}$ nat. Gr.

Die Ausfüllung wird bis zu derjenigen Höhe fortgesetzt, bis zu welcher der Boden zu entwässern ist, im Minimum bis zur *0,25 Met.* Höhe. Bei grosser Höhe genügt es, die Ausfüllung auf derjenigen Seite des Grabens anzulegen und sie an die betreffende Wand des Grabens anzulehnen, auf welcher das Wasser herzuströmt. Bei den eigentlichen Sickerschlitzen ist indess eine derartige Anordnung, wenn eine Ausfüllung auf grosse Höhe nothwendig wird, nicht thunlich.

Fig. 260.

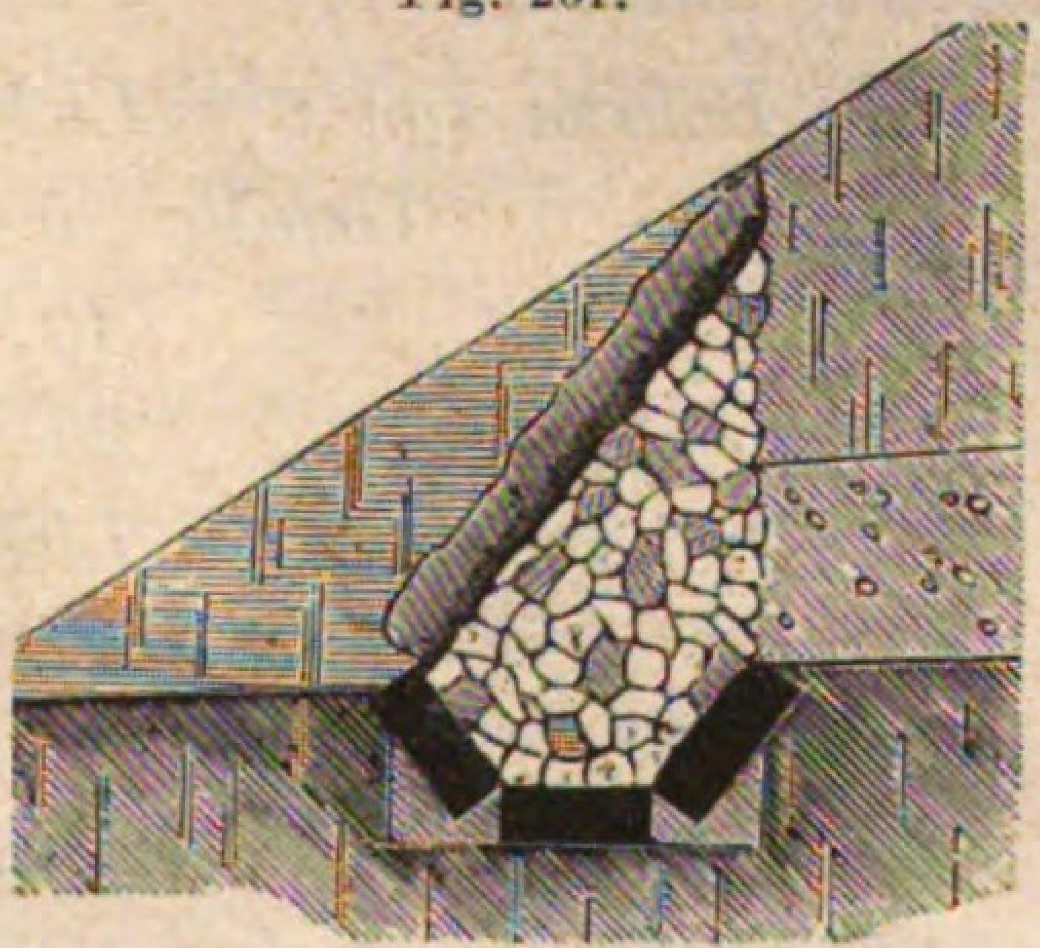


$^1/_{30}$ nat. Gr.

In Ermangelung von Steinen hat man zuweilen gewöhnliche Faschinen oder Prügelholz (Fig. 258) eingelegt und zwar entweder durchaus, oder nur im oberen Theile, welcher weniger Wasser aufzunehmen hat. Das stets im Feuchten liegende Holz hält sich ziemlich lange; die Faschinen schlämmen sich aber leicht voll.

Besser sind Faschinen, welche mit Steinen, Gerölle oder Kies angefüllt werden, sogen. Stein- oder Kiesfaschinen. Namentlich sind dieselben für Aufträge, wenn ein ungleichmässiges Setzen der Sohle zu befürchten ist, wenn ausser der Wasserabführung ein Widerstand geleistet werden soll (vgl. §. 140 und 153) zweckmässig. Sie erhalten solche Dimensionen, dass sie von einem Manne regiert werden können, nämlich *1,0 bis 1,2 Met.* Länge und *0,25 Met.* Dicke.

Fig. 261.



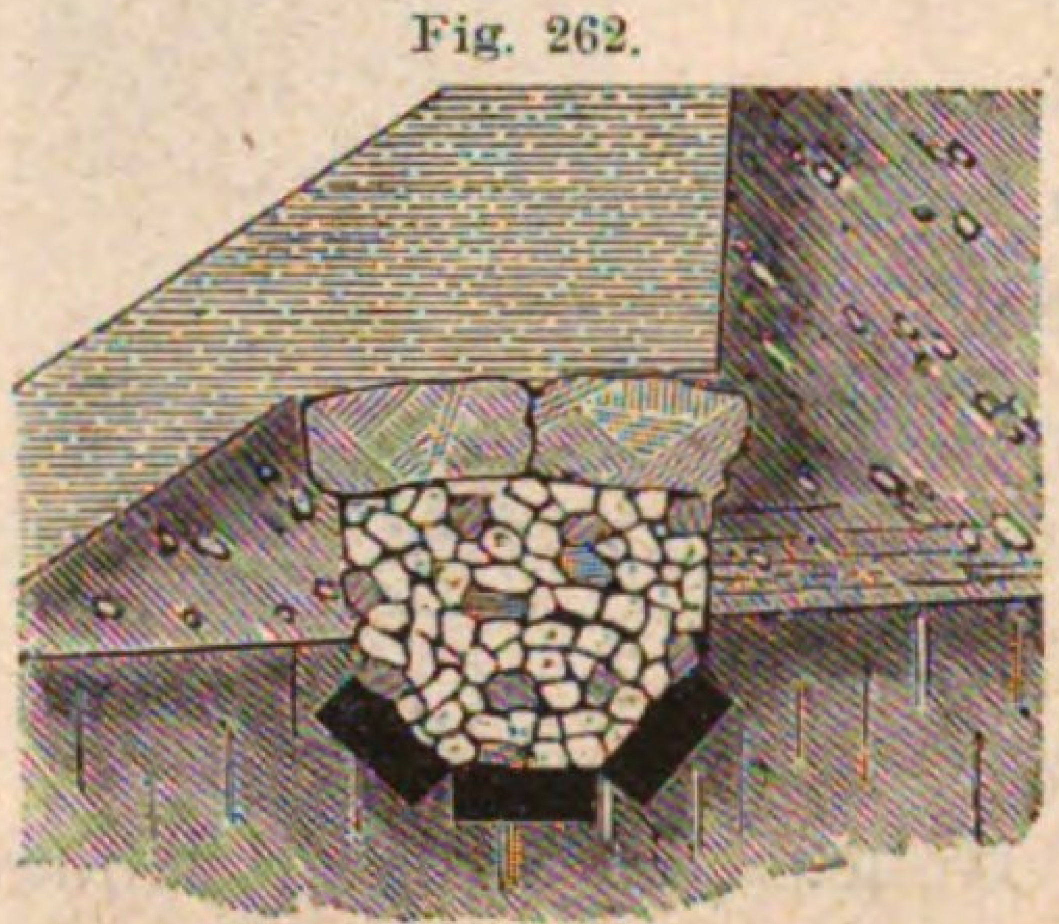
Bruère's Meth. $^1/_{15}$ nat. Gr.

Das Gefälle der Sohle soll mindestens $\frac{1}{100}$ sein; besser ist ein grösseres Gefälle. Gefällsbrüche sind, da sich in ihnen leicht Schlamm absetzt, möglichst zu vermeiden und statt dessen ein allmähliger Uebergang anzuordnen.

4. **Bedeckung.** Damit die aufgefüllte

Erde nicht in die Zwischenräume der Steine eindringt und so den Wasserabfluss hemmt, wird die Ausfüllung bedeckt und zwar 1) mit dünnen Steinplatten (Fig. 260 und 262), wobei etwaige Fugen auszuzwicken sind; 2) mit Thonplatten, welche von der vorhandenen thonigen Erde mit dem Spaten abgestochen werden; jedoch zerfallen diese leicht in eine lose Erdmasse; 3) mit Rasen, die grüne Seite nach unten gekehrt (Fig. 261); dies ist das gewöhnliche Mittel; 4) mit Strauchwerk; 5) mit Stroh, das man am besten, um eine dichte Decke zu erhalten, zu Seilen von *2 bis 3*^{m} Dicke flechtet, die wiederum durch Bindfaden zu Matten vereinigt werden. Rasen und Strauchwerk verrotten leicht; am besten sind natürlich Steinplatten, falls solche billig zu haben sind.

Fig. 262.



Sazilly's Meth. $^{1}/_{15}$ nat. Gr.

5. **Dränröhren** (franz. *le tuyau de drainage*, engl. *the drain-pipe*). Die Dränröhren sind gebrannte Thon- oder Lehmröhren von *30 bis 45*^{cm} Länge, *3 bis 18*^{cm} Weite. Die Wanddicke ist bei der innern Weite d ungefähr $= 0{,}45 + 0{,}1\, d$ *Centim.* zu wählen.

Das kleinste zulässige Gefälle ist um so grösser, je enger die Röhren sind; ungefähr ist dasselbe $= \frac{0{,}018}{d}$, also für $d = 4, 6, 8, 10^{cm}$ bezüglich $\frac{1}{220}, \frac{1}{330}, \frac{1}{450}, \frac{1}{550}$ zu wählen. Die Weite der Röhren richtet sich natürlich nach der abzuführenden Wassermenge, welche indess in den meisten Fällen sehr schwer zu bestimmen ist. Kennt man das Niederschlagsgebiet, so lässt sich die abzuführende Wassermenge aus der Regenhöhe bestimmen. Man kann etwa annehmen, dass bei einer monatlichen Maximalregenhöhe von *10*^{cm} im Maximum pro Hektare in einer Sekunde *0,0005 Kubikmet.* Wasser abzuführen sind; bei anderen Regenhöhen würde sich diese Menge proportional ändern. Nach „Kopp, Anleitung zur Dränage" ist die Grösse F des Niederschlagsgebietes für eine Röhrenleitung, auf eine monatliche Maximalregenhöhe von *10*^{cm} reducirt, folgende:

Röhren von 6^{cm} *Lichtweite*

Gefälle	*5*	*Promille*	$F = 0{,}50$ *Hektaren*
„	*10*	„	$F = 0{,}75$ „
„	*20*	„	$F = 1{,}00$ „

Röhren von 9^{cm} *Lichtweite*

Gefälle	*5*	*Promille*	$F = 1$ *Hektaren*
„	*10*	„	$F = 2$ „
„	*20*	„	$F = 3$ „
„	*30*	„	$F = 4$ „

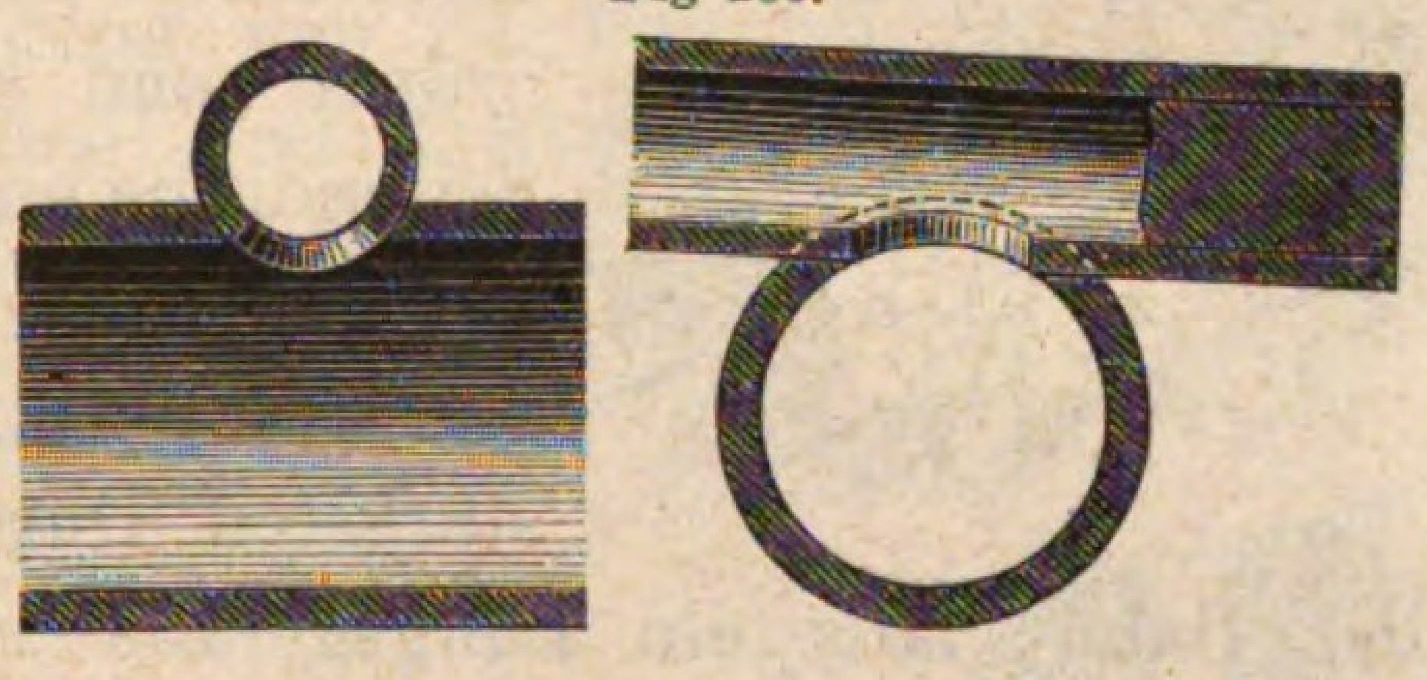
Diese Angaben entsprechen annähernd der Formel

$$F = 0{,}0025\, d^2 \sqrt{d\, s} \text{ Hektaren},$$

wobei die Lichtweite *d* in Centimetern, das Gefälle *s* in Promillen einzuführen ist. Man geht mit der Weite nicht gern über etwa *10 Centim.* und legt statt weiterer Röhren lieber mehrere Röhrenstränge (Fig. 257).

Man stösst die Röhren meist nur stumpf zusammen. Nur wenn in Folge der Beweglichkeit der Erde eine gegenseitige Verschiebung zu befürchten ist, wie z. B. in Aufträgen, schiebt man wohl über die Fugen Muffe von *9 bis 12*^{cm} Länge oder legt die Röhren in hölzerne Rinnen. Die Fugen überdeckt man mit Haidekraut, Rasen, Moos, Laub oder Stroh, besser aber mit fettem Thon oder Lehm, da die ersteren Materialien zuweilen eine Verstopfung der Röhren veranlasst haben.

Fig 263.



Zur Verbindung der Neben- mit den Hauptdräns verwendet man meist keine besonderen Stücke, sondern man bearbeitet zwei Röhren etwa in der in Fig. 263 gezeigten Weise und verbindet dieselben durch Draht oder Bindfaden (Spakat).

In der Nähe des Dräns dürfen sich bis zu einer Entfernung von *4 bis 6 Met.* keine Bäume und Sträucher befinden, da die Wurzeln durch die Fugen in die Röhren hineinwachsen und den Drän durch Bildung eines filzartigen Gewächses verstopfen.

Die Röhren müssen natürlich mindestens so tief gelegt werden, dass der Frost nicht eindringen kann.

Dränröhren sind besonders da zweckmässig, wo der Boden durchlässig ist; bei weniger durchlässigem Boden saugt eine Steinausfüllung eine grössere Wassermenge auf. Wenn die wasserführende Schicht eine grössere Höhe einnimmt, so bringt man zweckmässig Dränröhren und Steinfilter gleichzeitig in Anwendung (Fig. 257 und 259), um der Röhre das Wasser zuzuführen, namentlich dann, wenn der Boden unter der wasserführenden Schicht nicht leicht erweicht, also ein wasserdichtes Gerinne (Fig. 261) weniger nöthig ist. Auch gestatten die Röhren, wenigstens die weiteren, ein kleineres Gefälle, als Steinfilter.

6. **Sickergräben an den Böschungen.** In der unmittelbaren Nähe der Böschung werden Sickergräben hauptsächlich angewendet, wenn wasserführende Schichten vorhanden sind. Man hebt hierzu den Graben entweder in der gewöhnlichen Weise (Fig. 259 und 260) aus, oder man beseitigt zunächst ein dreieckiges Prisma und hebt alsdann nur noch einen kleineren Graben für das Gerinne aus (Fig. 261). Fig. 260 zeigt die gewöhnlich angewendete Konstruktion, Fig. 261 die Methode von

Bruère, Fig. 262 die Methode von Sazilly; Fig. 259 stellt den Fall zweier dicht über einander liegenden wasserführenden Schichten oder einer Sickerschicht von grösserer Höhe dar. Die Sohle muss mindestens *0,12 Met.* in die undurchlässige Schicht eingeschnitten sein und mindestens *0,4 bis 0,6 Met.* unter der Böschungsfläche liegen. Gibt man der Böschung Bermen, so legt man diese am besten über den Dräns an, um bei Reparaturen leicht zu den Dräns gelangen zu können.

§. 169. Entwässerung nassen Bodens unter Dämmen. Der nasse Boden, namentlich Wiesen- oder Torfboden, auf welchem ein Damm geschüttet werden soll, lässt sich ebenfalls durch Steinfilter oder Dränröhren entwässern. Am besten ordnet man einen Hauptdrän an, von welchem Seitendräns ausgehen; von den Seitendräns können unter Umständen wiederum Saugdräns abzweigen. Der Hauptdrän folgt entweder der Richtung der stärksten Durchnässung, oder der Längsrichtung der Bahn, falls ein Längsgefälle vorhanden ist, oder es werden die Hauptdräns in der Querrichtung in gewissen Abständen angelegt, falls ein Quergefälle vorhanden ist. Die Steinfilter werden zum Theil in das Terrain eingeschnitten, zum Theil ragen sie in den Auftrag hinein (Fig. 264 und Fig. 217, S. 227); die Hauptdräns erhalten *0,6 bis 2,0^m* Breite, die Saugdräns *0,20 bis 0,30^m* Breite und *0,6 bis 2,0^m* Höhe. Dränröhren werden in *0,5 bis 0,7^m* tiefe Gräben gelegt. Die specielle Anordnung hängt ganz von den obwaltenden Terrainverhältnissen ab.

Fig. 264.

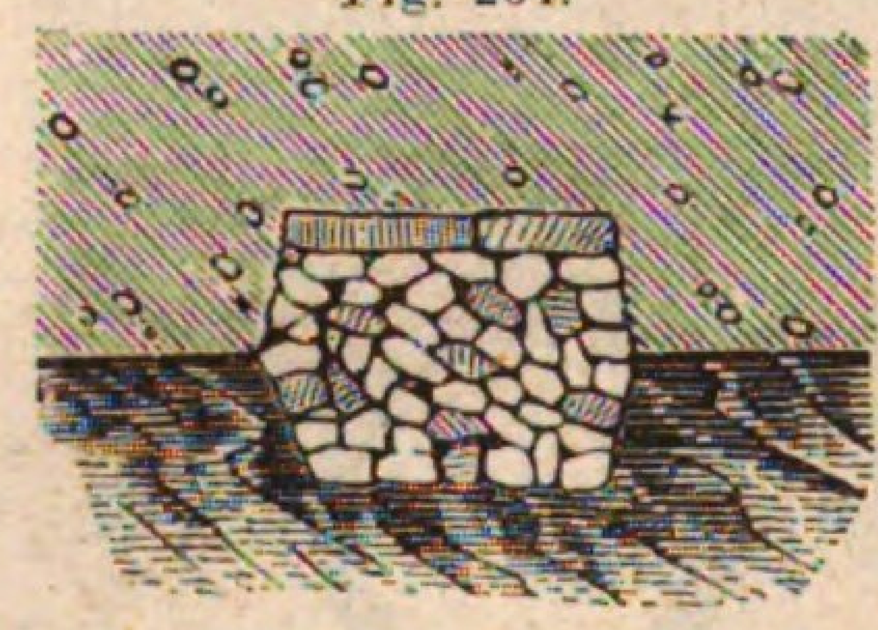
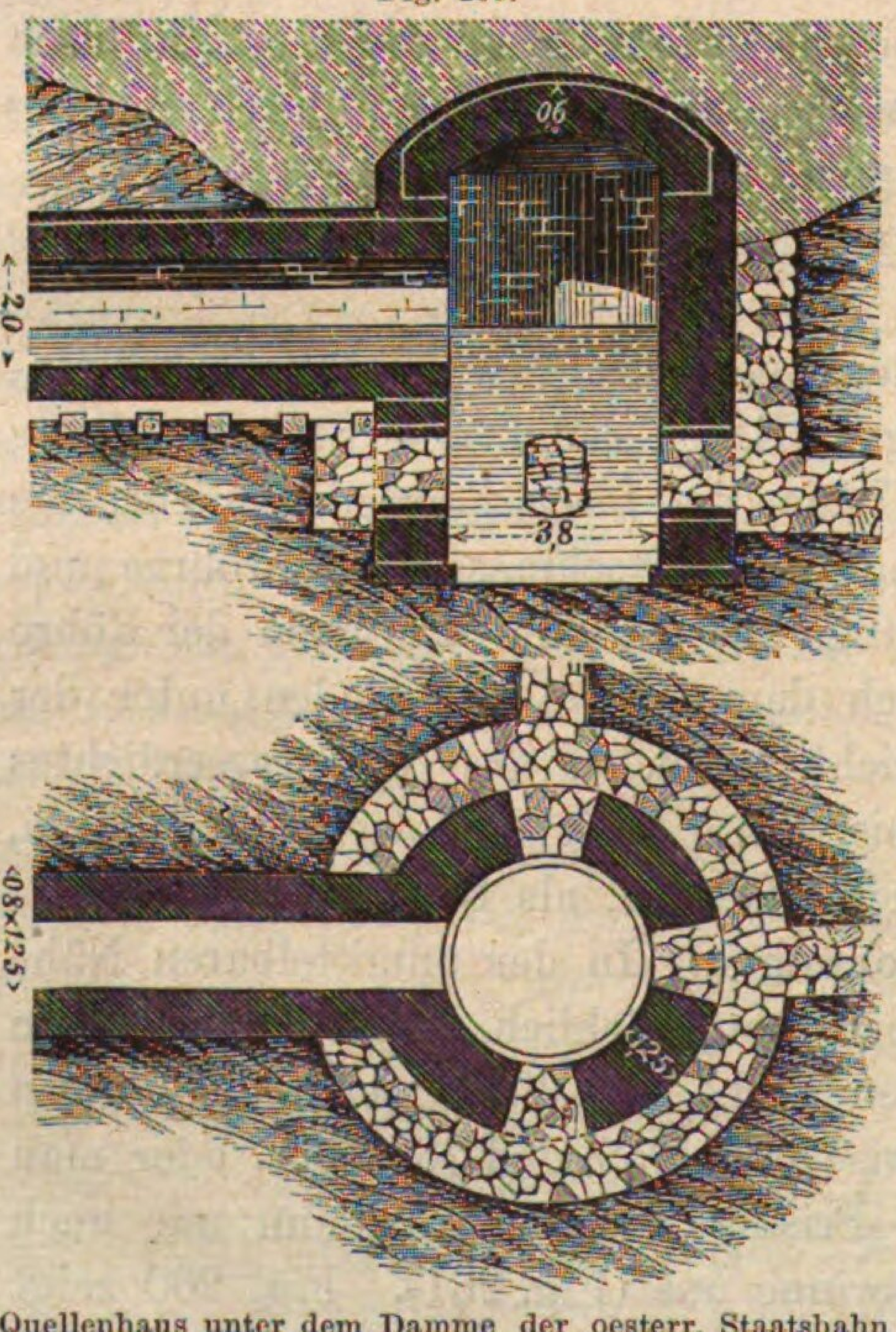


Fig. 265.



Quellenhaus unter dem Damme der oesterr. Staatsbahn im Bukowina-Thale. — $^1/_{25}$ n. Gr.

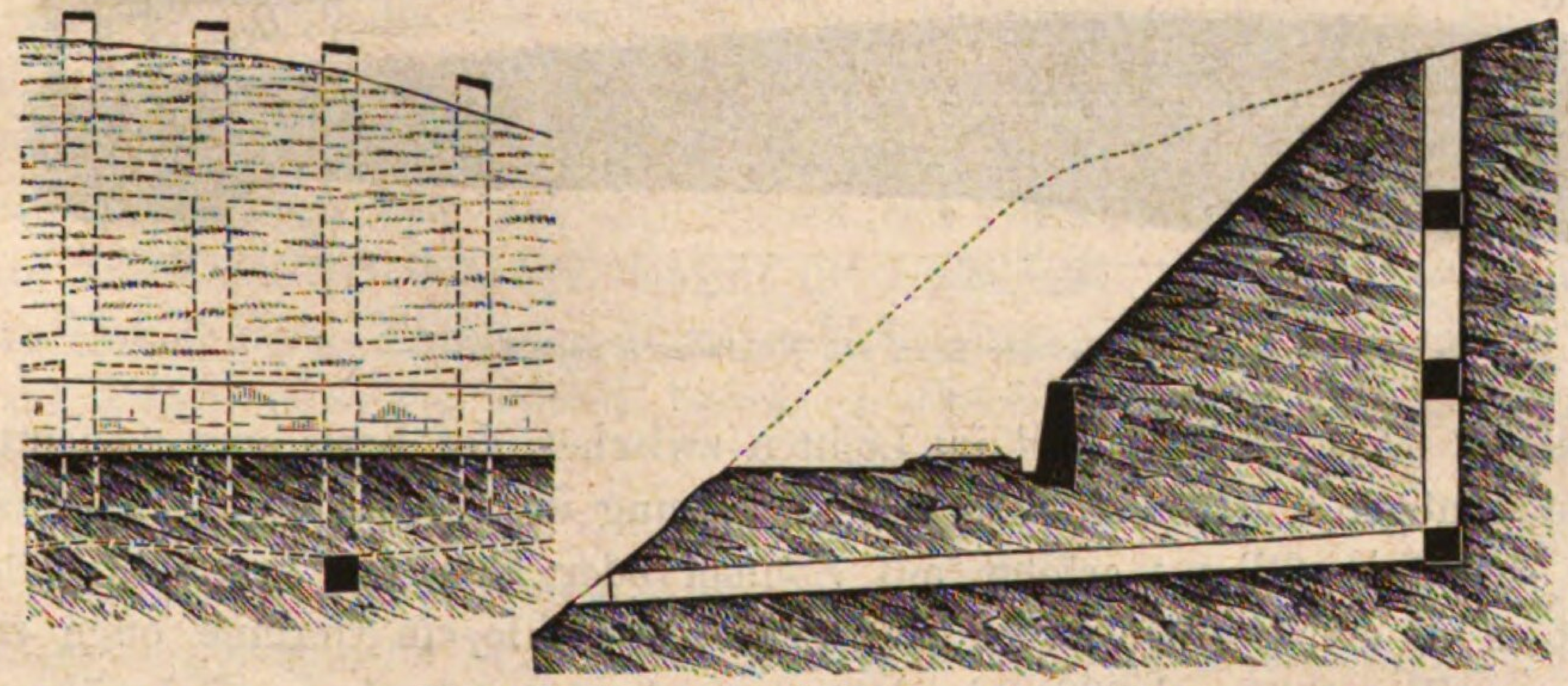
Diese Anlagen erscheinen aber nur nöthig, wenn es nicht möglich ist, das Terrain unter dem Damme durch eine oberhalb desselben anzuwendende Entwässerungsanlage ganz trocken zu legen. Vielfach sind diese Anlagen zur Unterstützung der für tiefere Schichten bestimmten Entwässerung angewendet worden.

Zeigt sich eine Quelle, welche

zu erhalten ist, da sie bisher zu irgend einem Zwecke benutzt wurde, so ist für dieselbe eine geeignete Fassung, ein sogenanntes Quellenhaus, zu erbauen, welches in der Regel aus einem überwölbten, cylinderischen oder rechteckigen Brunnen besteht, dem das Wasser durch den offenen Boden und durch Seitenöffnungen, an welche sich Steinfilter anschliessen, oder durch offene Fugen im Mauerwerke zuzuführen ist. Eine derartige Anlage zeigt Fig. 265; hier waren zwei nahe an einander liegende Quellen, welche zusammen *2400 Liter* Wasser pro Minute lieferten, durch zwei Quellenhäuser zu fassen, um sie zur Speisung eines Mühlenteiches zu erhalten.

§. 170. Bergmännische Entwässerung. Die bergmännische Entwässerung besteht in der Anwendung von Stollen (franz. *la galerie*, engl. *the gallery*, *drift*, *mine*, *heading*) und Schächten (franz. *le puits*, *le bure*, engl. *the shaft*, *pit*), welche mit durchlässigem Materiale ausgefüllt werden.

Fig. 266.



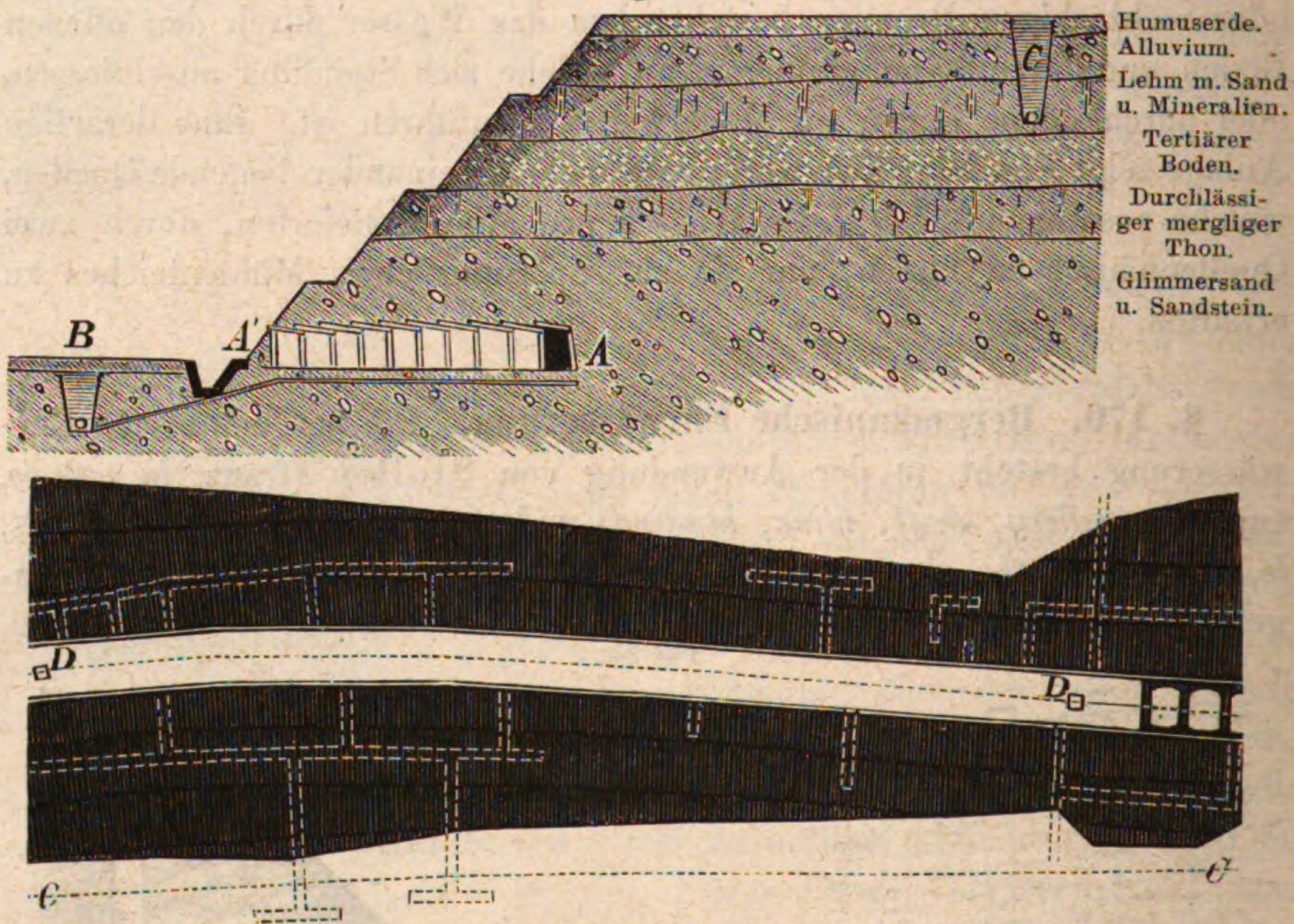
Normalien der oesterr. Südbahn. — $^1/_{1000}$ n. Gr.

Schlitze und Stollen kommen für grössere Tiefen in Anwendung; Stollen werden hier zwar meist billiger sein, aber sie empfehlen sich nur, wenn das Wasser nur von einer bestimmt ausgesprochenen wasserführenden Schicht abzuleiten ist, oder wenn das Wasser aus einer Schicht von nicht sehr grosser Höhe aufzusaugen ist, sowie endlich zur blossen Abführung des durch Sickeranlagen aufgesaugten Wassers. Die Schächte dienen entweder als blosse Angriffspunkte für die Stollen oder auch als Saugadern derselben; in letzterem Falle werden sie häufig von den Stollen aus als Aufbrüche hergestellt.

Die Querschnittsdimensionen sind hauptsächlich durch den Umstand bedingt, dass sich die Arbeiter in den Räumen bewegen müssen. Die Schächte werden etwa $1{,}5^m$ im Quadrat angelegt. Die Stollen werden im druckreichen Gebirge meist mit trapezförmigem Querschnitte mit

etwa *1,6*^{m} unterer, *0,9 bis 1,0*^{m} oberer Breite und *1,6*^{m} Höhe, in weniger druckreichem Gebirge meist rechteckig mit *1,5 bis 1,9*^{m} im Quadrat an-

Fig. 267.

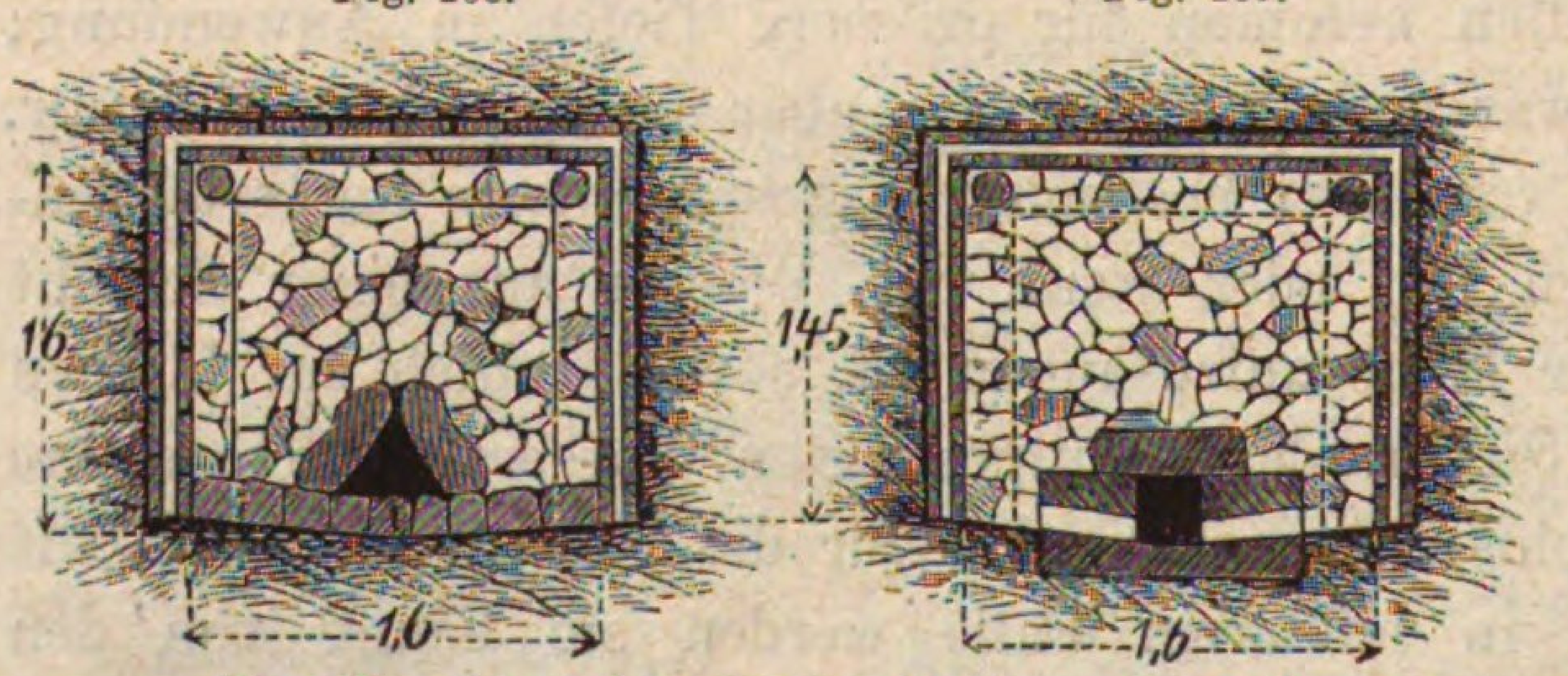


Einschnitt bei Dockenberg in der Bahn von Mühlhausen nach Paris. — $^1/_{400}$ u. $^1/_{2000}$ n. Gr.

gelegt. Diese Maasse sind im Lichten zwischen der Verladung gemeint; sie genügen auch fast stets zur Abführung des vorhandenen Wassers.

Die Ausfüllung erfolgt mit Steinen oder Kies; im ersteren Falle ist es in den Stollen zweckmässig, an der Sohle ein Gerinne offen zu lassen (Fig. 268 und 269); im letzteren ist es zweckmässig, Dränröhren einzulegen (Fig. 271). In den Stollen, welche das Wasser nicht zu sammeln, sondern nur abzuführen haben, kann es bei grösserer Wassermenge zweckmässig werden, Schleusen (Fig. 269 und 270) einzubauen.

Fig. 268. Fig. 269.



Normalien der oesterr. Nordwestbahn. — $^1/_{80}$ n. Gr.

Die Konstruktion der Auszimmerung kann hier übergangen werden, da dieselbe im „Tunnelbau" ausführlich besprochen wird.

Bei der in Fig. 135 und 267 dargestellten Entwässerung des Einschnittes bei Dockenberg an der Bahn von Paris nach Mühlhausen

besteht die Entwässerung aus blossen Querstollen oder aus Längs- und Querstollen; die Querstollen erhielten *10 bis 30*^{m} Abstand; *9 bis 36*^{m}, im Mittel *10*^{m} Tiefe, *0,8*^{m} Breite, *1,4*^{m} Höhe. Der untere Theil der Stollen ist mit Kies, der obere mit trockenen Steinen ausgefüllt; im Kiese liegen *0,25*^{m} über der Sohle zwei Dränröhren von *10*^{cm} Weite, aus welchen das Wasser nach einem unter der Mitte der Bahnplanie liegenden Sammler, welcher aus einer *30*^{cm} weiten Röhre besteht, geführt wird.

Fig. 270.

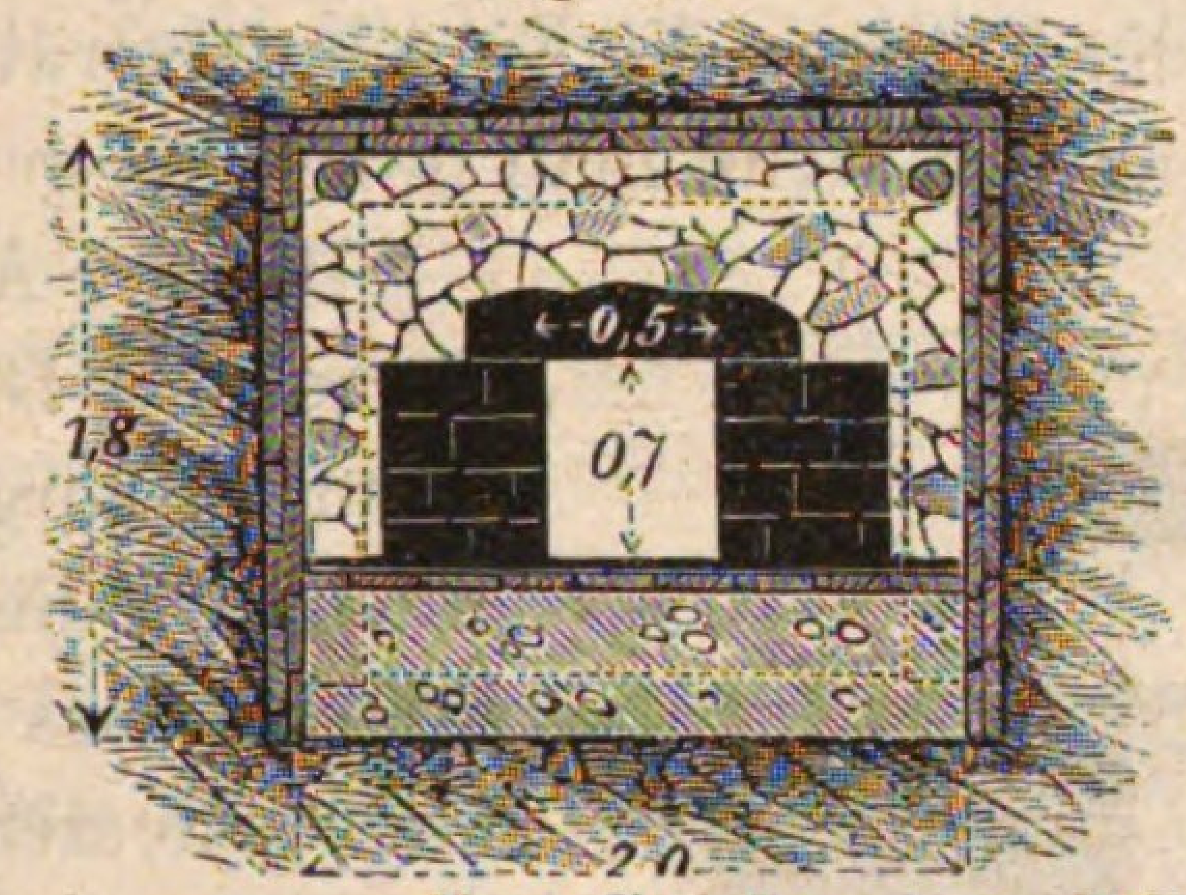
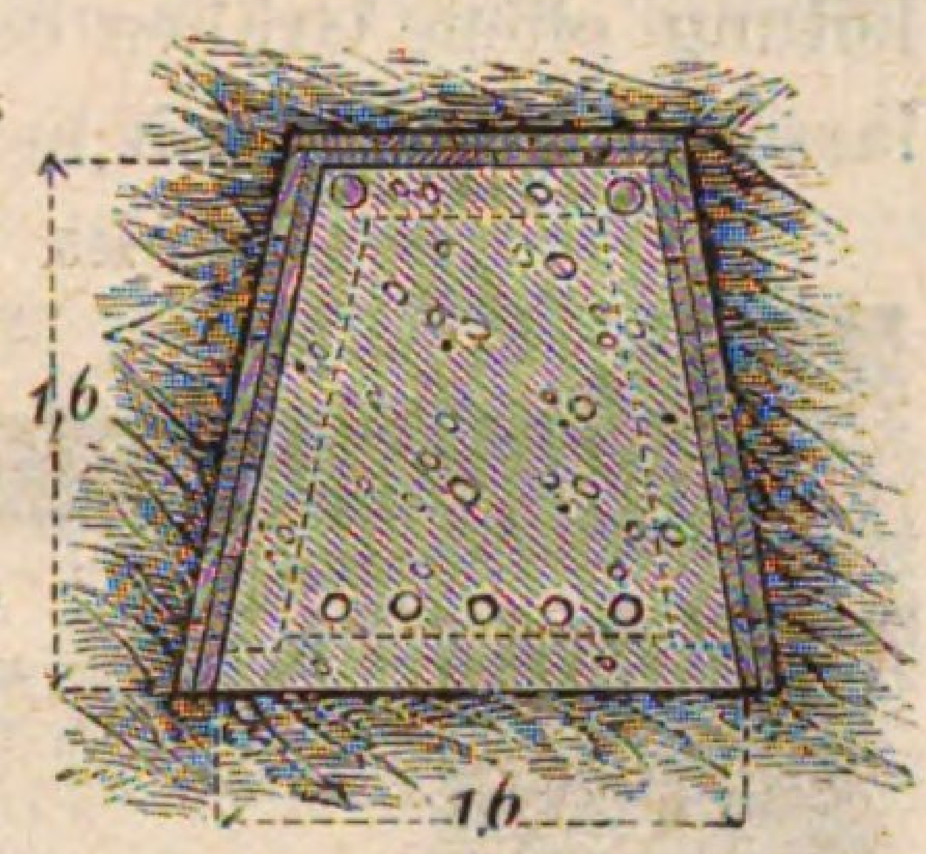


Fig. 271.



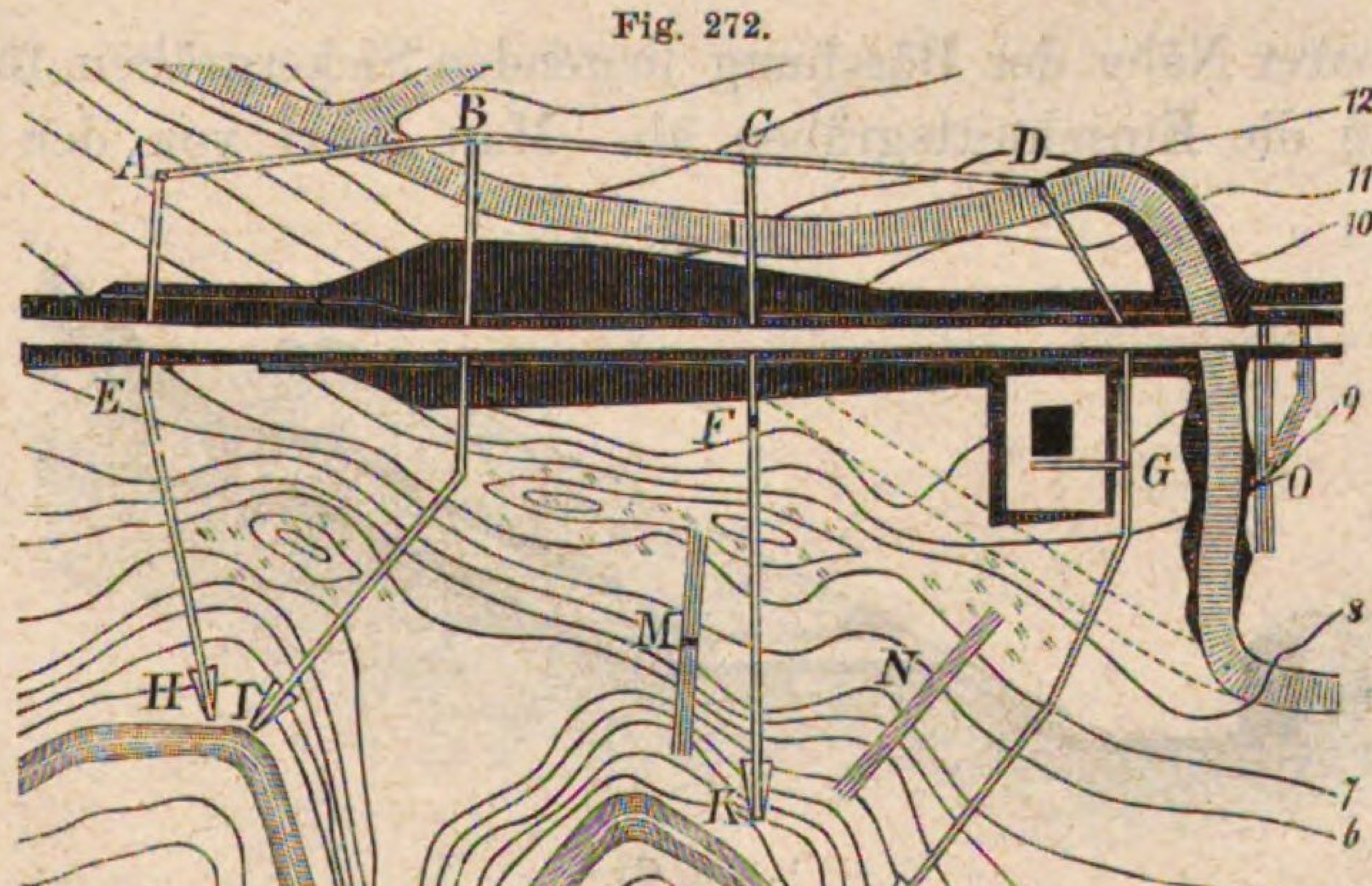
Normalien der oesterr. Südbahn. — $^1/_{80}$ n. Gr.

In Fig. 266 ist eine Entwässerung nach den Normalien der österreichischen Südbahn mit Schächten und Stollen dargestellt; sie bezieht sich auf den ungünstigsten Fall, in welchem sehr viel Wasser vorhanden ist; man ist hiervon meist abgewichen, indem man sich häufig mit den Stollen begnügt oder von den Stollen aus Schächte als Aufbrüche bis zur Höhe der durchnässten Schicht getrieben hat. Bei der Brennerbahn wurden ähnliche Entwässerungen vielfach ausgeführt.

Andere Beispiele wurden bereits in den Figuren 171, 172, 173, 217 und 235 dargestellt.

§. 171. Ausfluss des Wassers. Das durch die Entwässerungsanlagen gesammelte Wasser ist natürlich nach Orten abzuführen, wo es unschädlich ist. Meistentheils bietet sich Gelegenheit, das Wasser in fliessende Gewässer, welche sich in der Nähe befinden, abzuleiten (Fig. 272). Bei durchlässigem Untergrunde hat man das Wasser in einzelnen Fällen durch Versickern beseitigt. Bei der Ableitung in Gewässer ist nament-

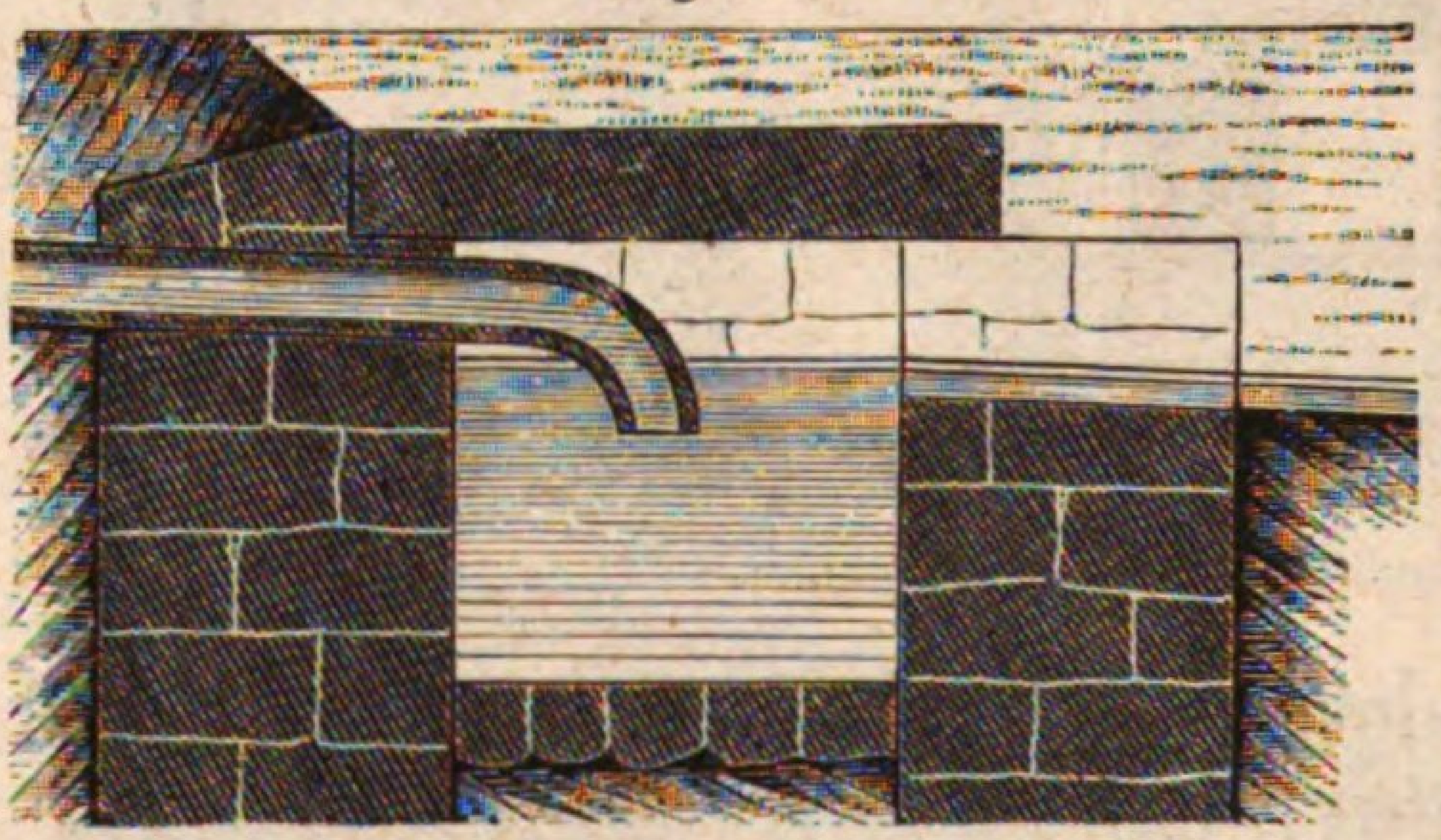
Fig. 272.



Ungarische Ostbahn. — $^1/_{2500}$ n. Gr.

ilch dafür zu sorgen, dass auch bei hohen Wasserständen ein Abfluss, nicht aber ein Rückstau in den Entwässerungsanlagen erfolgt. Unter Umständen kann dies allerdings lange Ableitungskanäle nach tieferen Stellen des Gewässers erheischen. Je nach Umständen dienen zur Ableitung offene Gräben oder Stollen; die Einschnittsgräben und Fussgräben lassen sich hierzu mit benutzen, wenn man ihnen das genügende Profil gibt.

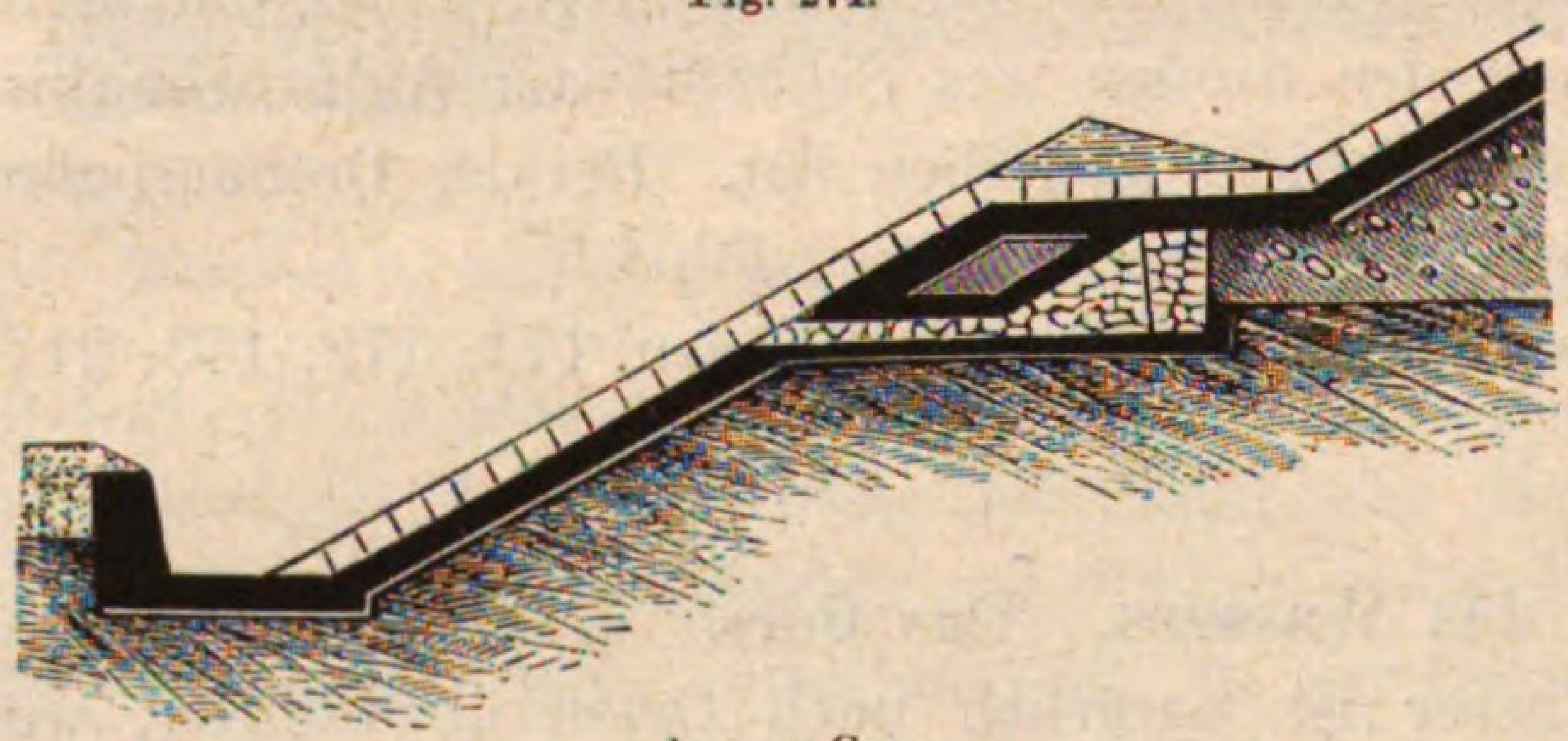
Fig. 273.



$^1/_{20}$ nat. Gr.

Bei der Anordnung des Ausflusses der Dränröhren hat man dafür zu sorgen, dass keine Gewächse in die Röhren eindringen können, dass womöglich die Luft abgeschlossen wird, welche das Gedeihen der Gewächse in der Röhre begünstigt, dass keine Thiere, wie Frösche, Schlangen Mäuse, Ratten und Maulwürfe, in die Röhren kriechen können uud dass womöglich im Winter kein Zufrieren erfolgt. Wenn möglich, lässt man die Röhren mit einem nach abwärts gekrümmten Endstücke unter Wasser ausmünden (Fig. 273). Als Endstücke verwendet man am besten besondere irdene etwa *0,8 bis 1,0 Met.* lange Röhren, welche dem Froste widerstehen.

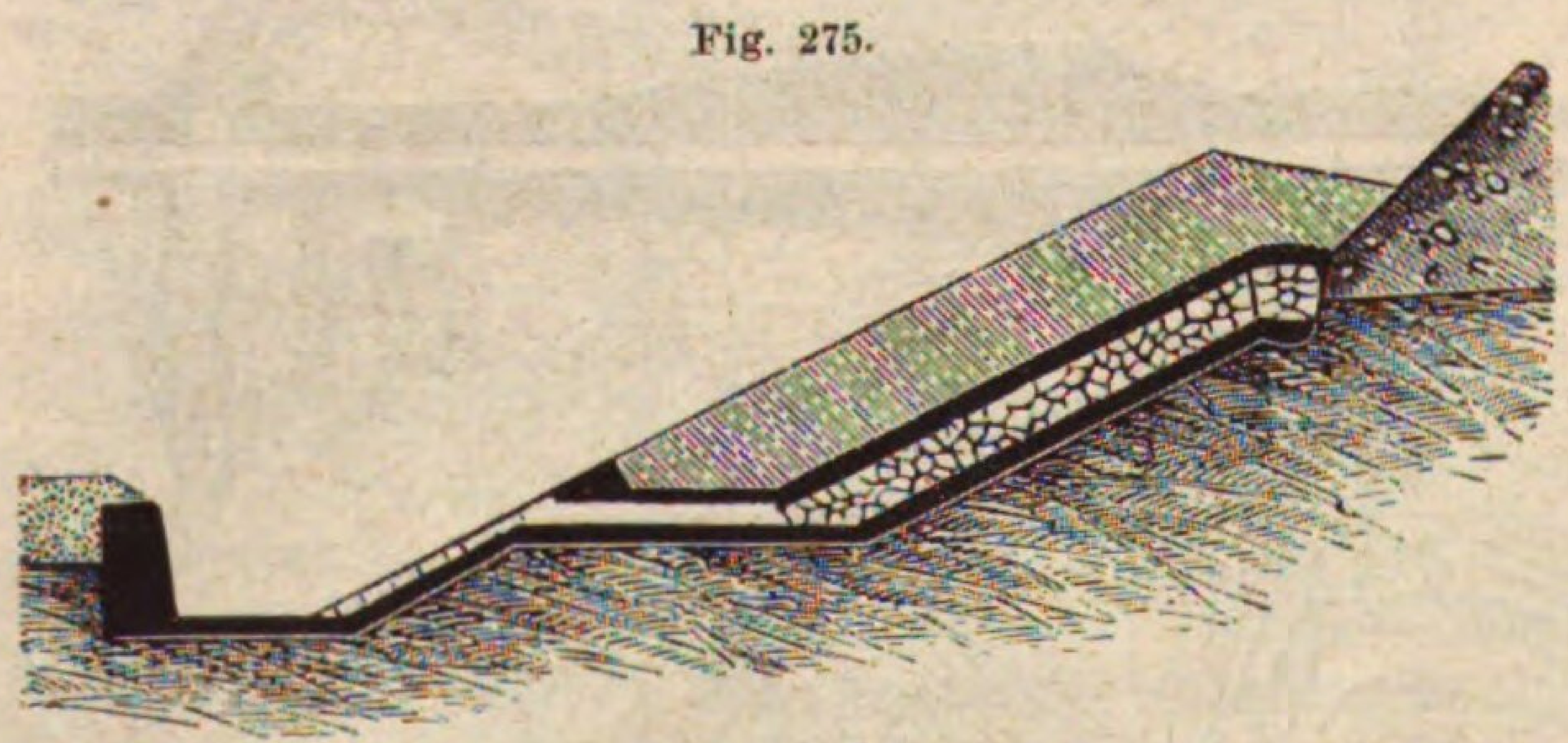
Fig. 274.



$^1/_{100}$ n. Gr.

Aus den in unmittelbarer Nähe der Böschung liegenden Sickergräben führt man das Wasser in die Einschnittsgräben ab. Man führt von den Dräns entweder gemauerte Querkanäle mit quadratischem Querschnitte oder Dränröhren mit etwa *0,1* Neigung nach den Abfallrinnen (Fig. 274), oder man führt Querdräns, welche ebenso konstruirt sind, wie die Längsdräns, in der Böschung herab bis unmittelbar über den Einschnittsgraben, und erst von hier aus führt man die gemauerten

Fig. 275.



$^1/_{100}$ n. Gr.

Kanäle oder Röhren direkt in den Einschnittsgraben (Fig. 275). Diese letztere Anordnung ist besser, weil sich Verstopfungen der Querkanäle, namentlich durch Eis, leichter beseitigen lassen, da man bequem zur Mündung gelangen kann. Ein Querschnitt von 8^{cm} im Quadrat genügt für die gemauerten Kanäle; Röhren würden etwa 8^{cm} Weite erhalten können.

Das Einschnittswasser kann man häufig bei geringer Wassermenge am Ende des Einschnittes auf die anstossenden Felder laufen lassen, während sich bei grösserer Wassermenge meist Gelegenheit bietet, das Wasser neben dem anstossenden Damme in Fussgräben nach dem nächsten Durchlasse zu leiten. Um bei grösserer Länge dieser Fussgräben nur einen solchen nöthig zu haben, kann man am Ende des Einschnittes das Wasser aus dem einen Seitengraben mittels eines offenen Durchlasses in den anderen Seitengraben leiten.

Bei dem in Fig. 272 dargestellten, der ungarischen Ostbahn entnommenen Beispiele handelt es sich um einen Einschnitt im Gebirge, welches von oben herab auf 2^m Tiefe trocknen Lehm, sodann blauen, sehr stark mit Sand gemengten und mit Wasser gesättigten, oft breiartig aufgeweichten Mergel, und erst von etwa 8^m Tiefe an weniger Sand und dementsprechend auch weniger Wasser aufweist. Es wurde ein Schlitz $ABCD$ bis in den festen Boden getrieben, die Sohle desselben mit dünnem Reissig bedeckt, der Schlitz auf 2^m Höhe mit Steinen und im Uebrigen bis zu $1{,}3^m$ unter dem Terrain mit Holz ausgefüllt (Fig. 258). Ausser den beiden Endabläufen AEH und DGL wurden, um das Wasser schneller zu entziehen, noch zwei Querschlitze BI und CEK ausgeführt. Die zur Entwässerung eines Sumpfes projektirten offenen Gräben M und N entfielen von selbst, da der Sumpf in Folge der unterirdischen Anlage austrocknete.

Literatur

des Erdbaues, insoweit derselbe im vorliegenden Hefte behandelt ist. Soweit als möglich chronologisch geordnet. Die Seitenzahlen und Figuren beziehen sich auf die Stellen des vorliegenden Heftes, an welchen eine Benutzung stattfand.

Allgemeines.

1. **Becker.** Allgemeine Baukunde des Ingenieurs. III. Aufl. Stuttgart, 1865. — 15 *M*.

2. ***Perdonnet.*** *Traité élémentaire des chemins de fer. Tom. I. III. Ed. Paris, 1865.* — (S. 182, 187, 234, Fig. 132, 143, 166 und 167).

3. ***Goschler.*** *Traité pratique de l'entretien et de l'exploitation des chemins de fer. Tom. I. Paris 1865.* 12 *Fr.* — (S. 204 und 226, Fig. 149, 163, 215, 274 und 275.)

4. ***Rankine.*** *A manual of civil engineering, compresing engineering surveys, earthwork, fondation, masonry, carpentry, metal-works, roads, railways, canals, rivers, water-works etc. 4. ed. London 1865.* (10. Aufl. 1876 unverändert) — 20 *M*.

5. ***Bazaine.*** *Cours de Chemins de fer. Ecole imper. des ponts et chaussées. 1869.* Autografie. — (S. 141).

6. **Culmann.** Der Erdbau (Vorträge am Polytechnikum in Zürich). 1873. — 8 *M*.

7. **Henz.** Praktische Anleitung zum Erdbau. III. Aufl. Nach d. Tode d. Verfassers umgearbeitet und vermehrt von W. Streckert. Berlin 1874. 19 *M* — (S. 188, 199, Fig. 144, 170, 233).

8. **Heyne.** Der Erdbau in seiner Anwendung auf Eisenbahnen und Strassen. Wien 1876. — (S. 192, 235, Fig. 131, 257). — 6 Fl.

Absteckung.

9. **Brunkov.** Praktisches Handbuch zur Bestimmung und Konstruktion der verschiedenen bei Eisenbahnen vorkommenden Kurven durch Koordinaten etc. Berlin 1846. 4,50 *M*.

10. **Schönbichler.** Das Abstecken der Eisenbahnbögen nach gegebenen gleichen Sehnen mit Hilfe der Tafeln der natürlichen Sinus. — Zeitschrift des österr. Ing.-Ver. 1851.

11. **Schmidt.** Vortheilhaftes Verfahren für die Trassirung von Eisenbahnen. — Zeitschr. des österr. Ingen.-Ver. 1852.

12. Verfahren bei Absteckung der Bahnkurven. — Organ 1856.

13. **Waege.** Anleitung zur Kurven-Absteckung mit besonderer Rücksicht auf Eisenbahnanlagen. Mit Hilfstafeln für Bögen von 10—1000 Ruthen Radius. II. Aufl. Mit 7 Taf. 1856. 3 *M*.

14. **Hartwig.** Methode zum Abstecken von Kreissegmenten bei Eisenbahnen, Dammbauten u. s. w.. — Romberg's Bauz. 1857.

15. **Clarcini.** Der verbesserte Arkograf. — Förster's Bauz. 1857. — Org. für Eisenbahnw, 1858.

16. ***Tourette.*** *Tracé des chemins de fer, routes et canaux. Solutions théoriques et pratiques de toutes les opérations du tracé. Avec 31 plch. 1859.* — 7,50 *M*.

17. **Breton.** Kurven mit ungleichen Tangenten. — *Annales des ponts et chauss.* 1860. — Civiling. 1861.

18. **Günther.** Ueber Absteckung der Eisenbahnkurven. — Deutsche Bauzeitung, 1868.

19. ***Trautwine.*** *The field practice of laying out circular curves for railroads. 6 ed. Philadelphia, 1869.* 8 ℳ.

20. **Redl.** Formeln, Aufgaben und Tabellen für Kurvenbestimmungen. Mit 2 Taf. Wien. 2 fl.

21. ***Olver.*** *Tables for setting out half-widths on railways etc. London, 1870.* — 8 ℳ.

22. **Hecht.** Kurventafeln zum Trassiren von Eisenbahnen, Schosseen etc. Braunschweig 1871. 1,20 ℳ.

23. ***Frost.*** *An elementary treatise on curvetracing. London 1872.*

24. **Heyne.** Das Trassiren der Eisenbahnen in vier Beispielen und einem Anhange. Mit Atlas. IV. Aufl. Wien 1872. 7 fl. — (§. 18—21).

25. **Kröhnke.** Handbuch zum Abstecken von Kurven auf Eisenbahnen und Weglinien. VIII. Aufl. Leipzig 1873. — 1 ℳ 80 ₰.

26. **Knoll.** Taschenbuch zum Abstecken der Kurven von Eisenbahnen und Strassen. Stuttgart 1873. 3 ℳ.

27. **Gerstenberg.** Tabellen zum Abstecken von Eisenbahn- und Strassenkurven mittelst Sehnenwinkel und Sehnenordinaten. Leipzig 1873. 1 ℳ.

28. ***Livingston.*** *Treatise on the setting out of railway curves with full tables of the angles, distances and offsets required. Lond. 1873.* 13 ℳ.

29. **Winckel.** Handbuch zum Abstecken von Kurven. Berlin 1873. 2 ℳ.

30. ***Charpentier.*** *Tracé des voies de communication et de courbes de raccordement. Paris 1874.* — (Tabellensammlung.)

31. **Hanhart** und **Waldner.** Trassirungs-Handbuch für die Ingenieurarbeiten im Felde bei der Projektirung und dem Bau von Eisenbahnen und Wegen. Berlin 1874. 5 ℳ.

32. **Sarrazin** und **Oberbeck.** Taschenbuch zum Abstecken von Kreisbögen für Strassen und Eisenbahnen, sowie zum Abstecken von Kreisbögen mit den an denselben angeschlossenen Uebergangs-Kurven, nebst Tabellen zum Einschalten von Uebergangskurven bei bestehenden Gleisen. Berlin 1874. 3 ℳ. — (§. 26.)

33. ***Rudnicki.*** *Obliczenie i odtyczeni luków dla dróy kolei zélaznych. Krakow 1874.* (Polnisch.)

34. ***Shunk.*** *A practical treatise on railway curves, and location, for groung engineers.* — 8 ℳ.

35. **Morawitz.** Die Strassen- und Eisenbahnkurve. Eine Sammlung neuester Tabellen zum Behufe des Bogenaussteckens nach einer schnellen, in allen Fällen — namentlich bei Gebirgsbahnen — anzuwendenden Methode. IV. Aufl. 1875. 1,75 fl.

36. **Helmert.** Ueber die günstigste Wahl der Koordinatpunkte beim Abstecken einer Trasse. Zeitschr. d. Hannov. Arch. u. Ing.-Ver. 1875.

37. **Pockels.** Der Arkograf zum Abstecken der Kreisbögen. Deutsche Bauz. 1875.

Siehe ausserdem noch No. 49, 50, 51, 52 und 77.

Uebergangskurven.

38. **Ilse.** Ueber bewährte Verbindungskurven für Eisenbahngeleise. — Org. für Eisenbahnw. 1865.

39. **Thommen's** Uebergangskurven. — Schweizerische polytechn. Zeitschr. 1864. — Org. für Eisenbahnw. 1865.

40. ***Nördling.*** *Chemin de fer d'Orleans. Ordre de Service, concernant le raccordement des courbes.* Drei autogr. Hefte. *Paris 1867.*

41. **Nördlinger.** Ueber die Vermittelung der Gefälle, sowie der geraden und gekrümmten Strecken auf Eisenbahnen. Auszug aus dem Protokoll der Sitzung des Ingenieur-Vereins zu Paris. — Erbkam's Zeitschr. für Bauw. 1868.

42. **Benedikt.** Uebergangs-Kurven. — Kick's technische Blätter, 1871.
43. **Helmert.** Die Uebergangskurven für Eisenbahngeleise. Aachen 1873. 2,80 ℳ.
44. **Faulhaber.** Ueber Kurvenanschlüsse auf Eisenbahnen. — Deutsche Bauz. 1873.
45. **Theune.** Die zweckmässigste Form der Uebergangskurven. — Deutsche Bauz. 1875.
46. **Jebens.** Die kubische Parabel als Uebergangskurve. Organ für Eisenbahnw. 1875.
47. **S.** Ueber die Absteckung der Kreisbögen mit angeschlossenen Uebergangs-Kurven durch Polar-Koordinaten. — Deutsche Bauz. 1876.
48. **Bawsky.** Absteckung von Korbbögen mit Uebergangskurven. — Eisenbahnv. V. Bd. 1876.

Nivellement.

49. **Heider.** Systematische Anleitung zum Trassiren der Eisenbahnen. II. Aufl. Leipzig 1860. 5 ℳ.
50. ***Brun.*** *Traité pratique des opérations sur le terrain comprenant les traces et les nivellements nécessaires à la construction des chemins de fer, routes et canaux. Paris 1860.* 3 *Fr.*
51. **Stummer v. Traunfels.** Praktische Anleitung zum Trassiren der Eisenbahnen. Weimar 1867. — 4 ℳ.
52. ***Simms.*** *A treatise on the principles and practice of levelling, showing its application to purposes of railway engineering and the construction of roads etc. V. ed. with the addition of Mr. Law's practical examples for setting out railway curves. New York.* — 10½ ℳ.
53. **Meydenbauer.** Aufnahme von Querprofilen mit dem Pendelspiegel. Deutsche Bauz. 1873.
54. **Neumann.** Gebrauch des Winkel-Prismas zum Nivelliren. — Deutsche Bauz. 1874.
55. **Oberbeck.** Vereinfachte Nivellements-Formulare. — Deutsche Bauz. 1874. — (§. 30).
56. **Poeckles.** Nivellements-Formulare. — Deutsche Bauz. 1874. — (§ 30).
57. **Stampfer.** Theoretische und praktische Anleitung zum Nivelliren. VIII. Aufl. bearb. v. J. Herr. Wien 1877. 3 fl.
58. ***Dillon.*** *The Plenometer. — Civil Engin. ond Arch. Journ. 1858.* (Instrument, um die Breite der Einschnitte und Dämme auf geneigtem Terrain zu bestimmen).
59. ***Wilson.*** *The Kremnometer. — Pract. Mech. Journ. XI. 1858/59. — Civil Engin. and Arch. Journ. 1859.* (Instrument, um Böschungen zu messen und Breiten von Einschnitten und Dämmen zu bestimmen).
60. ***Cargill.*** *Railway slopes and side widths. — Civil Engin. and Arch. Journ. 1864. P. 113 et. 147.* (Berechnung und Absteckung der Breite von Einschnitten und Dämmen).

Siehe ausserdem Werke über Feldmesskunde, Artikel über Nivellirinstrumente und No. 1, 4, 7, 24, 94 und 108.

Grafische Darstellung.

61. **Junker.** Tabellen und Steigungsverhältnisse von 1 : 40 bis 1 : 1000 für Distanzen von 1 bis 100 und der analogen Steigungswinkel. Wien 1872. 80 kr.
62. Bestimmungen für die Aufstellung der technischen Vorarbeiten zu Eisenbahnanlagen. Aufgestellt im k. Ministerium für Handel etc. in Berlin, 1871. — Zeitschr. d. Ver. deutscher Eisenbahnverwaltungen. — Heusinger's Kalender für Eisenbahn-Techniker, 1873. — Mit 2 Farbendrucktafeln besonders erschienen. 14 ℳ.
63. **Specht.** Tafeln der Steigungsverhältnisse von 0,5 bis 100 Promille für die Entfernungen von 1 bis 100 nebst den entsprechenden Steigungswinkeln nach alter und neuer Theilung. Zürich, 1876. 3 ℳ.
64. **Peschka.** Kotirte Elenen und deren Anwendungen. Brünn 1877. — 4 fl. 80 kr.

Siehe ausserdem die Werke No. 94, 99, 132, 137, 138, 139 und 143.

Flächen- und Massenberechnung.

65. **Wedeke.** Ueber die Berechnung der Auf- und Abträge bei Anlage der Schosseen und Eisenbahnbauten. — Romberg's Bauz. 1844.

66. ***Hughes.*** *Comprehensive tables for the calculation of earthwork, us annected with railways etc. London 1846.*

67. **Macaire.** Neue Tafeln zur Berechnung von Erdarbeiten. *Ann. des ponts et chauss. 1846.* — Der Ingenieur I. 1848.

68. **Röthler.** Darstellung- und Berechnungsart der Erdabgrabungen und Aufdämmungen bei Strassenbauten. — Zeitschr. des österr. Ing.-Ver. 1850.

69. **Weisbach.** Die Aufnahme und Kubirung von Bergen und Halden. — Civil-Ingenieur I. 1854.

70. **Henz.** Hülfstafeln bei Berechnung des Inhaltes von Erdarbeiten beim Baue der Eisenbahnen, Schosseen und Kanäle. 1854. — 8 *M.*

71. **Sommer.** Berechnung von Erdmassen, welche aus sogen. Seitenausstichen oder Seitenentnahmen erfolgen; desgl. von Erdarbeiten an Brückenkegeln; desgl. von Auf- und Abträgen in Krümmungen. — Erbkam's Zeitschr. für Bauw. 1855.

72. **Schönbichler.** Notizen zur Raumermittelung krummer Rampen und ähnlicher Körper. — Zeitschr. des österr. Ingen.-Ver. 1856.

73. ***Simonson.*** *Method of calculating excavation and embankment. — Artizan, XIV. 1856.*

74. **Hartwig.** Verfahren zur Berechnung ungleich hoher Dammkörper. — Rombergs Bauz. 1857.

75. ***Gayffier.*** *Nouveau manuel des ponts et chaussées. I part. 1857. Pag. 224 et 253.*

76. **Bell.** Diagramm zur Erleichterung der Berechnung von Auf- und Abträgen. — Civilingenieur 1858.

77. ***Graham.*** *A manual of earthwork, London 1863.*

78. ***Warner.*** *On a stereometric tablet for the computation of earthwork. — Artizan, 1863. — Civil engin. and Arch. Journ. 1863.*

79. ***Warner.*** *New theorems, tables and diagrams for the computation of earthworks.* — $20\frac{1}{2}$ *M.*

80. ***Byrne.*** *Methode of find the contents of railway-cottings and embankments. — Civ.-Engin. and Archit.-Jour. 1864.*

81. **Redlich.** Hülfsmittel für Erdberechnungen bei Eisenbahn-Vorarbeiten. — Erbkam's Zeitschrift für Bauw. 1864.

82. ***Mathieu.*** *Tableaux graphiques faisant connaitre sans calcules les surfaces des profils et les cubes des terrassements en terrain incliné. — Nouv. annales de la constr. par Oppermann. 1865 u. 1866.*

83. **Oberbeck.** Abgekürztes Verfahren bei Berechnung von Erdmassen, Grund- und Böschungsflächen für den Bau der Eisenbahnen. — Deutsche Bauzeitung, 1868.

84. ***Trautwine, J. C.*** *A new method of calculating the cubic contents of excavation and embankment, by the aid of diagrams. — 3 Bde. Philadelphia 1869. —* 8 *M.*

85. ***Rice, E. C.*** *Tables of calculating excavation and embankment of regular and irregular cross-sections.*

86. ***Macneill.*** *Tables for facilitating the calculation of earth-work in the cuttings and embankments of railways etc. II Ed.*

87. **Kökert.** Flächen-Tafeln zur Kubatur-Berechnung der Eisenbahnprojekte. Wien 1872. 1 fl.

88. **Merth.** Tabellen zur Berechnung der Querschnittsflächen der Auf- und Abträge von variabler Planiebreite für Strassen- und Eisenbahnkörper. Wien 1873. 2 fl. 50 kr.

89. **Plessner.** Anleitung zum Veranschlagen der Eisenbahnen. III. Aufl. Berlin 1873. 6 *M.*

90. **Howard.** *Earthwork mensuration on the basis of the prismoidal formulae. Containing simple and lavor-saving method of obtaining prismoidal contents directly form and areas. New York.* — 6 ℳ.

91. **Morris, E.** *Easy rules for the measurement of earthwork, by means of the prismoidal-formula.*

92. **Mayer.** Erd- und Böschungsarbeiten. — Heusinger's Kalender für Eisenbahn-Techniker, 1877.

93. **Amslar-Laffon.** Anwendung des Integators (Momentenplanimeters) zur Berechnung des Auf- und Abtrages. Zürich 1875. 2 ℳ. — (§. 66).

94. **Kaven, A. v.** Vorarbeiten zu Eisenbahnen (Vorträge über Eisenbahnbau am Polytechn. zu Aachen, IV.). Aachen 1876.

95. **Siebert.** Bestimmungen des Flächeninhaltes von Querprofilen. — Deutsche Bauz. 1876.

96. **Lewicki.** Theoretische Abhandlung über die Kubatur der Auf- und Abträge bei Schosseen und Eisenbahnen. Wien 1844. — 70 kr.

97. **Dumas.** *Calcul des terrassements. Formules nouvelles pour obtenir facilement le cube exact ou appròximatif d'un entreprofil en déblai. — Nouv. ann. de la constr. 1876.*

98. **Dombrowski.** Theorie und Anleitung zur praktischen Ausführung der rationellen Inhaltsberechnung bei den Erdbauten, besonders der Eisenbahnen. — Leipzig, 1976. — 4 ℳ.

Siehe ausserdem No. 4, 6, 24, 104 und 109.

Massenvertheilung.

99. **Bauernfeind.** Ueber Erdabgleichung und Transportweiten; dessen Vorlegeblätter zur Strassen- und Eisenbahn-Baukunde. München 1856. 12,80 ℳ.

100. **Foth de felsö Szoper.** Grafische Darstellung der statischen Momente für die Massenvertheilung und Transportweitenbestimmung bei Erdarbeiten. Wien 1859.

101. **Heyer.** Anleitung zum Bau von Waldwegen. Giessen, 1864.

102. **Schönbichler.** Versuch, die willkührlichen Dispositionen bei Erdarbeiten einer Rechnung zu unterwerfen. (Quer-Transport). — Zeitschr. des österr. Ing.-Ver. 1869.

103. **Francke.** Das Massennivellement. Zeitschr. d. Hannov. Arch.- u. Ing.-Ver. 1867.

104. **Schmidt.** Ueber grafische Kostenbestimmung der Erdbauten. — Zeitschr. des bairischen Arch.- und Ing.-Ver. 1869.

105. **Obbereck.** Ermittelung der vortheilhaftesten Höhe für Seitenaussatz und Seitenentnahme bei Erdarbeiten. — Deutsche Bauzeitung, 1869.

106. **Eickemeyer.** Das Massen-Nivellement und dessen praktischer Gebrauch. — Leipzig 1870. $2\frac{1}{2}$ ℳ. — (S. 134).

107. **Ruttkowski.** Das Massen-Nivellement. — Deutsche Bauz. 1871.

108. **Schuberg, K.** Der Waldwegbau und seine Vorarbeiten. Berlin 1873.

109. **Launhardt.** Das Massen-Nivellement. Zeitschr. des Hannov. Arch.- u. Ing.-Ver. 1874. — (S. 135—140).

109b. **Ulbricht.** Die Entwickelung der Koordinaten aus dem Massennivellement. — Protokoll des sächsischen Ingen.-Ver. No. 84. 1875.

110. **Culmann.** Die grafische Statik. II. Aufl. I. Bd. Zürich 1875. IV. Kap. 20 ℳ.

111. **Franzl.** Anwendung des grafischen Verfahrens zur Bestimmung der zu bewegenden Massen für das Detailprojekt. — Mitth. des Arch.- u. Ing.-Ver. im Königr. Böhmen, 1875.

Siehe ausserdem No. 7.

Theorie des Transportes durch animalische Kräfte.

112. **Kaven.** Ueber Leistungen des Menschen bei Karrentransporten auf der Horizontalen, sowie auf Steigungen. — Notizbl. des hannoverschen Arch.- und Ing.-Ver. II. Band.

113. **Winkler.** Einfluss der Neigungen beim Transporte durch animalische Kräfte. — Mittheilungen des Arch.- und Ingen.-Ver. für Böhmen. 1868.

114. **Launhardt.** Bestimmung der zweckmässigsten Steigungsverhältnisse der Schosseen. Zeitschr. des Hannoverschen Arch.- und Ing.-Ver. 1868.

Siehe ausserdem die Werke über Mechanik von Gerstner, Weisbach u. s. w. sowie No. 8 und No. 108.

Theorie der Böschungen.

115. ***Navier.*** *Resumé des leçons données à l'école des ponts-et-chaussées sur l'application de la mécanique à l'établissement des constructions et des machines. I partie, contenant les constructions en terre, en maçonnerie et en charpente. II. edit. Paris 1833.* — Deutsch unter dem Titel: Mechanik d. Bauk. v. Westphal. Hannover 1851. $5^1/_2$ ℳ.

116. ***Collin.*** *Recherches expérimentales sur les glissements spontanés des terrains argileux, accompagnées de considération sur quelques principes de la mécanique terrestre. Avec atlas. Paris 1846.* 15 *Francs.*

117. ***Sacilly,*** *M. de. Notice sur conditions d'equilibre des massifs de terre et sur les revêtements des talus. — Paris 1851.* (*Extrait des Ann. des ponts et chauss. 1851).* — (Fig. 260, 261, 262).

118. **Sazilly.** Bemerkungen über die Bedingungen des Gleichgewichts der Erdmassen und über die Bekleidung der Böschungen. (Uebersetzung des vorigen Artikels). — Zeitschr. des österr. Ing.-Ver. 1852. — Auszug im Organ für Eisenbahnw. 1852 und in No. 80. — (§. 107 u. 109).

119. **Löwe.** Alte und neue Versuche über Reibung und Kohäsion der Erdarten. München 1872.

120. **Ott.** Vorträge über Baumechanik. I. Theil. II. Aufl. Prag 1876.

Siehe ausserdem No. 1, 4, 6 und 8.

Konstruktion der Erdbauten im Allgemeinen.

121. ***Perdonnet et Polonceau.*** *Portefeuille de l'ingenieur des chemins de fer. Paris 1842—46. 2 Bde.*

122. **Leblanc.** Ueber Erdböschungen. — Crelle's Journ. für die Baukunst. Bd. 21. — Polytech. Centralbl. 1845. — Hartmann's Eisenbahnzeit. 1845.

123. Entwässerung von Moorgrund, um eine Eisenbahn darauf zu legen. *Civil Engin. and Arch. Journ. XIV. 1851.*

124. Ueber die Gestalt der Böschungen. — Förster's Bauz. 1852.

125. **Pressel.** Zur Ausführung von Einschnitten in schlammigem Grunde. — Eisenbahnzeit. 1853.

126. ***Carvallo.*** *Recherches sur les lois expérimentales du tassement des remblais (Extrait). — Comptes rendus, 1860.* — (S. 219).

127. **Carvallo.** Das Sichsetzen der Dammschüttungen. (Uebersetz. d. vorigen Artik.) — Civilingenieur, 1861. (Literaturbl. S. 14).

128. ***Bruère.*** *Traité des consolidations des talus, routes, canaux et chemins de fer, avec 25 plchs. Paris 1862.* 10 *Franc.* — Eine deutsche Uebersetzung: Försters Bauzeit. 1866. — (S. 185, Fig. 137, 138, 209, 212, 214, 261).

129. ***Perdonnet et Flachat.*** *Nouveau portefeuille de l'ingénieur des chemins de fer. 1866.* — (Fig. 132 und 142).

130. ***Couche.*** *Voie matériel roulant et exploitation technique des chemins de fer. I. Band. Paris 1867—68.* — (Fig. 153 und 156).

131. Die Bepflanzung der Böschungen. — Deutsche Bauzeitung, 1868.

132. **Meyer.** Herstellung der Erdkörper — in Heusinger v. Waldegg, Handbuch für specielle Eisenbahntechnik. I. Band, III. Aufl. 1873.

133. **Lucas.** Die Bepflanzung der Eisenbahndämme und Böschungen mit Obstbäumen und nutzbringenden Gehölzarten. — Ravensburg 1870. 0,65 ℳ.

134. **Kaven, A.** v. Stützmauern und Steinbekleidungen. Vorträge über Eisenbahnbau am Polytechn. zu Aachen II. Aachen 1875. — (Fig. 178 und 188).

Siehe ausserdem No. 1 bis 8, 108, 117, 118 und 177 bis 187.

Konstruktion der Erdbaue bei einzelnen Bahnen.

135. Bekleidung der Böschungen der Bahn von St. Germain des Fosses nach Roanne. — *Ann. des ponts et chaussées, 1859.* — Zeitschr. des Hannoverschen Arch.- und Ing.-Ver. 1864.

136. Erdarbeiten an der Rhein-Nahe-Bahn. — Erbkam's Zeitschr. für Bauw. 1862. — (Fig. 183, 184).

137. **Etzel.** Oesterreichische Eisenbahnen, entworfen und ausgeführt in den Jahren 1857—67 von C. v. Etzel. Insbesondere VI. Bd. Linie Innsbruck-Bozen. Wien 1864. — Text hierzu: Besondere Vorschriften für den Baudienst der Eisenbahn von Innsbruck nach Bozen. Wien 1869. 24 fl.

138. Normalien für den Unterbau der österreichischen Nord-West-Bahn. 1868. (Fig. 130, 195—197, 201, 203, 217, 268, 269).

139. Normalien für den Unterbau der österreichischen Südbahn 1869. — (Fig. 179, 181, 187, 190, 191, 238, 266, 270, 271).

140. ***Nördling.*** *Compagnie du chemin de fer d'Orléans. Compte-rendue statistique.* Fünf autographirte Hefte. Paris, 1866 bis 1869. — (Fig. 180, 192, 223).

141. Instruktionen über die Bauausführung der Brennerbahn. Für die bauleitenden Beamten zusammengestellt von der Bauinspection Innsbruck. (Wien, bei Lehmann und Wenzel, II. Aufl. 1872.) — (Fig. 185, 222, 240).

142. Normalien der Württembergischen Staatsbahnen. — (Fig. 241).

143. Normalien für den Bahnbau der schweizerischen Nordostbahn. — (Fig. 205, 254).

144. Normalien für den Unterbau der Salzburg-Tiroler Bahn. 1874. — (S. 213, Fig. 186, 202).

145. ***Fleming.*** *The intercolonial. A historical sketch of the inception, location, construction and completion of the line of railway uniting the Inland and Atlantic Provinces of the Dominion. Montreal 1876.* — (Fig. 200).

Konstruktion einzelner Erdbauten.

146. ***Dechamps de Pas.*** *Consolidation des talus de la tranché de Glomel au Canal de Nantes à Brest. — Ann. des ponts et. chauss. V. 1843.*

147. Beitrag zur Bahngründung im Moorgrunde (im Haspelmoore zwischen München und Augsburg). — Eisenbahnzeit. VIII. 1850.

148. Ueber Herstellung des Dammes der schiefen Ebene bei Kulmbach. — Förster's Bauz. 1851.

149. **Hoffmann.** Ueber Herstellung des Dammes der Lübeck-Büchener-Eisenbahn durch den Möllner See. — Erbkam's Zeitschr. für Bauw. 1852. — Organ für Eisenbahnw. 1852. — Polytechn. Centralblatt 1843.

150. **Plessner.** Reisenotizen von der k. k. oesterr. südl. Staats-Eisenbahn (Damm durch das Laibacher Moor). — Erbkam's Zeitschr. für Bauw. 1853. — (S. 238).

151. **Müller.** Die Heubachbrücke zwischen Kempten und Immenstadt auf der k. bairischen Süd-Nord-Bahn. — Förster's Bauz. 1855.

152. **Fries.** Der Eisenbahndamm durch den Bodensee bei Lindau. — Förster's Bauz. 1855. — Organ für Eisenbahnw. 1855. — (S. 239, Fig. 204 und 231).

153. **Müller.** Bauausführungen der k. bairischen Süd-Nord-Bahn. — Romberg's Bauz. 1856. — (Fig. 189, 155).

154. ***Martin.*** *Chemin de fer de l'-Ouest. — Ann. des ponts et chauss. XIV. 1857.*

155. Der Damm über den Laibacher Moor. — Zeitschr. des österr. Ing.-Ver. 1858. — (S. 238).

156. Ueber die Arbeiten und Kosten der Eisenbahn zwischen St. Germain des Fosses und Roanne. — *Ann. des ponts et chauss. 1859.* — Zeitschr. d. Hannov. Arch.- u. Ing.-Ver. X. 1864.

157. **Pauli.** Ueber den Bahnbau auf der Linie Rosenheim-Salzburg und insbesondere am Simsee. — Zeitschr. des österr. Ing.-Ver. 1860. — Organ für Eisenbahnw. 1861.

158. **Schmidt.** Ueber Herstellung von Eisenbahndämmen in Moorboden auf der Bremen-Geeste-Bahn. — Zeitschr. des Hannover'schen Arch.- und Ing.-Ver. 1864. — (S. 228, Fig. 227).

159. ***Desnoyers.*** *Mémoire sur l'établissement des travaux dans les terrains vaseux de Bretagne. Ann. des ponts et chauss. VII. 1864.* — Deutsches Referat in: Erbkam's Zeitschr. für Bauw. 1865. — Zeitschr. des Hannov. Arch.- u. Ing.-Ver. 1865. — Förster's Bauz. 1865. — (S. 238, Fig. 226 u. 228).

160. **Pressel.** Strombauten an der Legrader Lehne der österr. Südbahn. 1868. — Mit autogr. Text; nicht im Buchhandel. — (Fig. 196).

161. **Rziha.** Eisenbahn-Unter- und Oberbau. Offic. Bericht der Weltausstellung 1873. Wien 1876. (Wiederherst. des devastirten Bahnkörpers bei Patsch. Eisenbahndamm durch die Osterschelde. Eisenbahndamm durch das Sloe).

Siehe ausserdem No. 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 117, 118, 121, 128, 129, 130 und 132.

Abrutschungen.

162. ***Dechamps de pas.*** *Consolidation des talus de la tranché de Glomel au Canal de Nantes à Brest. — Ann. des ponts et chauss. 1843.*

163. **Hutton-Gregory.** Ueber Erdeinstürze bei Eisenbahnbauten in besonderer Beziehung auf die erfolgten Einstürze in der Londoner Thonbildung an der Bahn von London nach Croydon. — Förster's Bauz. 1845, nach *Instit of Civ.-Ing.* — (S. 198, 234. Fig. 225).

164. ***Mallet.*** *Some remarks upon the movements of posttertiarg and other discontinous masses. — Journ. of the Geological Society of Dublin, V. 1851.*

165. ***Martin.*** *Chemin de fer de l'Ouest;* (Wiederherstellung eingestürzter Böschungen von Einschnitten). — *Ann. des ponts et chauss. 1857.*

166. **Pavay.** Die geologische Beschaffenheit der rutschenden Gebirgsschichten der Klausenburger-Bânfi-Hunyàder-Eisenbahn. — Verhandl. der k. k. geolog. Reichsanst. 1871.

167. **Bolte.** Die Rutschungen an der Bebra-Hanauer Eisenbahn. — Erbkam's Zeitschr. für Bauw. 1871. — (S. 199—202, 242, 243, Fig. 171—173, 234, 235).

168. **Fuchs.** Ueber eigenthümliche Störungen in den Terrainbildungen des Wiener Beckens und über eine selbstständige Bewegung loser Terrainmassen. — Jahrb. d. geolog. Reichsanst. 1872.

169. **E. F.** Die Rutschungen im Einschnitte am Osterberge bei Münden in der Hannover-Altenbecken Eisenbahn. — Deutsche Bauz. 1873.

170. **Osthoff.** Beitrag zum Erdbaue. (Rutschungen an der Dux Bodenbacher Bahn.) — Zeitschr. des Hannoverschen Arch.- und Ing.-Ver. 1873.

171. ***Comoy.*** *Notice sur divers travaux de consolidation de terrains éboulées. — Ann. des ponts et chauss. 1875.* — (S. 191, 203, 227, Fig. 152, 156, 174, 216).

172. Bericht und Expertengutachten über die im Februar 1875 in Horgen am Zürichsee vorgekommenen Rutschungen. — Eisenbahn, IV. 1875. — (S. 239, Fig. 232).

173. Vom Bergrutsch bei Kaub. — Deutsche Bauz. 1876.

174. **Wolf.** Die Rutschungen am Kahlenberg-Gehänge längs der Donau. — Wochenschr. des österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1876.

175. Rutschungen während des Baues der Bötzbergbahn. — Eisenbahn, 1876. — (S. 227 und 233).

176. **Ballif.** Ein Versuch zur Bestimmung des Reibungs-Koefficienten von Lehm auf Tegelschichten. — Wochenschr. des österr. Ing.- u. Arch.-Verein. 1876.

Siehe ausserdem No. 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 115, 116, 117, 118, 125, 128, 129, 130, 132, 151, 185, 186 und 187.

Entwässerungen.

177. **Zeller.** Die Erdrutschungen an Eisenbahnböschungen und die Anwendung der Dränage dagegen. — Eisenbahnzeit. 1853.

178. **Eickenmeyer.** Die Anwendung der Dränage gegen Erdrutschungen an Eisenbahnböschungen. — Eisenbahnzeit. 1853. — Polytechn. Centralblatt 1854.

179. **Dünkelberg.** Die Dränage in ihrer Anwendung auf Eisenbahnbau. — Organ für Eisenbahnw. 1854.

180. **Plessner.** Ueber ausgeführte Entwässerungen bei Eisenbahnen. — Organ für Eisenbahnw. 1854.

181. **Plathner.** Ueber Entwässerungen des Bahnplanums. — Erbkam's Zeitschr. für Bauw. 1856. — Organ für Eisenbahnw. 1856.

182. **Vianne.** Verstopfung von Dränröhren und Mittel, sie zu verhindern. — *Nouv. annales de la construction par Oppermann. 1857.*

183. Dränirung von Einschnitten; Bohrer für die Dräns etc.: „Die Bauwerke der herzogl. Braunschweigschen Südbahn von Börssum nach Kreinsen. Braunschweig, 1858."

184. ***Delacroix.*** *Faits de drainage, débit des terres drainées, ponter des plans d'eau souterrains; résultats d'expériences, conduisant à des régles pour la détermination des écartements à donner aux drains dans certains terrains. 1859.* 1 *Franc.*

185. **Gerstel.** Ueber Entwässerungsanlagen im Lehmgebiete. — Förster's Bauz. 1874. — (S. 186, 261. Fig. 140, 154, 245, 258, 272, Taf. V).

186. **Lorenz.** Entwässerungs- und Bauarbeiten auf der Strecke Schüssburg-Kronstadt der ungarischen Ostbahn. — Förster's Bauz. 1875.

187. **Lorenz.** Entwässerungs- und Bauarbeiten bei Eisenbahnbauten im Rutschterrain. Zürich 1876. — (S. 227, Fig. 217).

Siehe ausserdem No. 1 bis 8, 117, 118, 125, 128, 129, 130, 132, 137, 138, 139, 140, 165, 167, 174 und 175, ferner Werke über die Dränirung zu landwirthschaftlichen Zwecken, wie:

188. **Stöckhardt.** Die Dränage oder die Entwässerung des Bodens durch Thonröhren. Leipzig, 1852.

189. **Kreuter.** Praktisches Handbuch der Dränage. Wien 1854.

190. **Hamm.** Katechismus der Dränirung. II. Aufl. Leipzig 1858.

191. **Gropp.** Deutsches Dränbuch. Berlin 1872. — 1,50 *M.*

192. ***Margon, H.*** *Instruction pratique sur le drainage, réunis par ordre du Ministre des travaux publics. 3 ed. Paris 1863.*

193. **Kopp.** Anleitung zur Dränage. Verfasst im Auftrage des landwirthsch. Ver. des Kantons Thurgau. Frauenfeld 1865.

194. **Vincent.** Die Dränage; deren Theorie und Praxis. Preisschrift. IV. Aufl. Leipzig 1870.

195. **Toussaint.** Die Bodenkultur und das Wasser. Breslau 1872.

Berichtigungen.

Seite 5, Formel 3: $CA = t - \frac{c \sin \beta}{\sin \tau}$ statt $CA = \frac{c \sin \beta}{\sin \tau}$.

„ 10, §. 11, Zeile 7: y_1 statt y.

„ 11, Zeile 9 v. unten: b statt a.

„ 13, „ 4 „ oben: 14 statt 13.

„ „ „ 4 „ unten: $\angle aAb = \angle bAc$ statt $\angle aAb = \angle aAb$.

„ 14, Formel 17: $\frac{s}{2r}$ statt $\frac{2r}{s}$.

„ 15, Fig. 14: in der kleinen Figur (Fig. 14b) fehlen die Buchstaben d und d_1.

„ 16, Zeile 8 v. oben: B statt B_1.

„ „ „ 14 „ „ dd_1 statt Fd.

„ 17, vorletzte Zeile von §. 14: „in A und B“ statt „und A und B“.

„ 19, Formel 18: $+ 2r_1$ statt $- 2r_1$, $+ 2r_2$ statt $- 2r_2$, $\sin \frac{1}{2} \beta_1$ statt $\cos \frac{1}{2} \beta_1$ und $\sin \frac{1}{2} \beta_2$ statt $\cos \frac{1}{2} \beta_2$; Formel 20: zweimal *tan* statt *cos*.

„ 20, Zeile 6 v. unten: „Man misst AB“ statt „Man misst AA“.

„ 22, §. 21, Zeile 7: „dem Plane“ statt „dem abgesteckten Plane“.

„ 23, Zeile 14 v. unten: σ statt s.

„ 26, „ 2 „ oben: $\frac{d^2 y_1}{dx_1^2}$ statt $\frac{dx_1^2}{d^2 y_1}$.

„ „ „ 4 „ unten: AB statt BPD.

„ 31, „ 6 „ oben: $\frac{3}{2}$ statt $\frac{2}{3}$.

„ 32, Formel 49: $48re$ statt $48r$; in Formel 49 und 49a gehört der Wurzelstrich nicht über das letzte Glied $-\frac{1}{2}$.

„ 35, Zeile 14 v. unten: $\frac{x^3}{6lR}$ statt $\frac{x^3}{lR}$.

„ „ „ 7 „ „ $6rl$ statt $2rl$.

„ 40, Zeile 2 v. unten: *2,862* statt *2,962*.

„ 42, „ 1 „ oben: „Die Absteckung“ statt „Zur Absteckung“.

„ 43, „ 15 „ „ §. 33 statt §. 28.

„ 57, „ 7 „ „ Die Zahl 45 ist zu streichen.

„ 58, „ 7 „ unten: §. 46 statt §. 45.

„ „ „ 9 „ oben: a. statt 1.

„ 59, „ 13 v. oben: $B = \frac{m}{1 - m^2 n^2}$ statt $B = \frac{1}{1 - m^2 n^2}$.

„ „ Formel 5: Cb^2 statt Bb^2.

„ 60, Zeile 17 v. oben: „nach Formel 2“ statt „nach 1“.

„ 65, „ 11 „ unten: $h'_0 \mp h$ statt $h'_0 \pm h$.

„ „ Formel 8: nb' statt nb.


„ 67, Zeile 10 v. oben: $b + h \cot \alpha$ statt $h + h \cot \alpha$.

„ 68, „ 17 „ oben: $- y_2 l^2$ statt $+ y_2 l^2$.

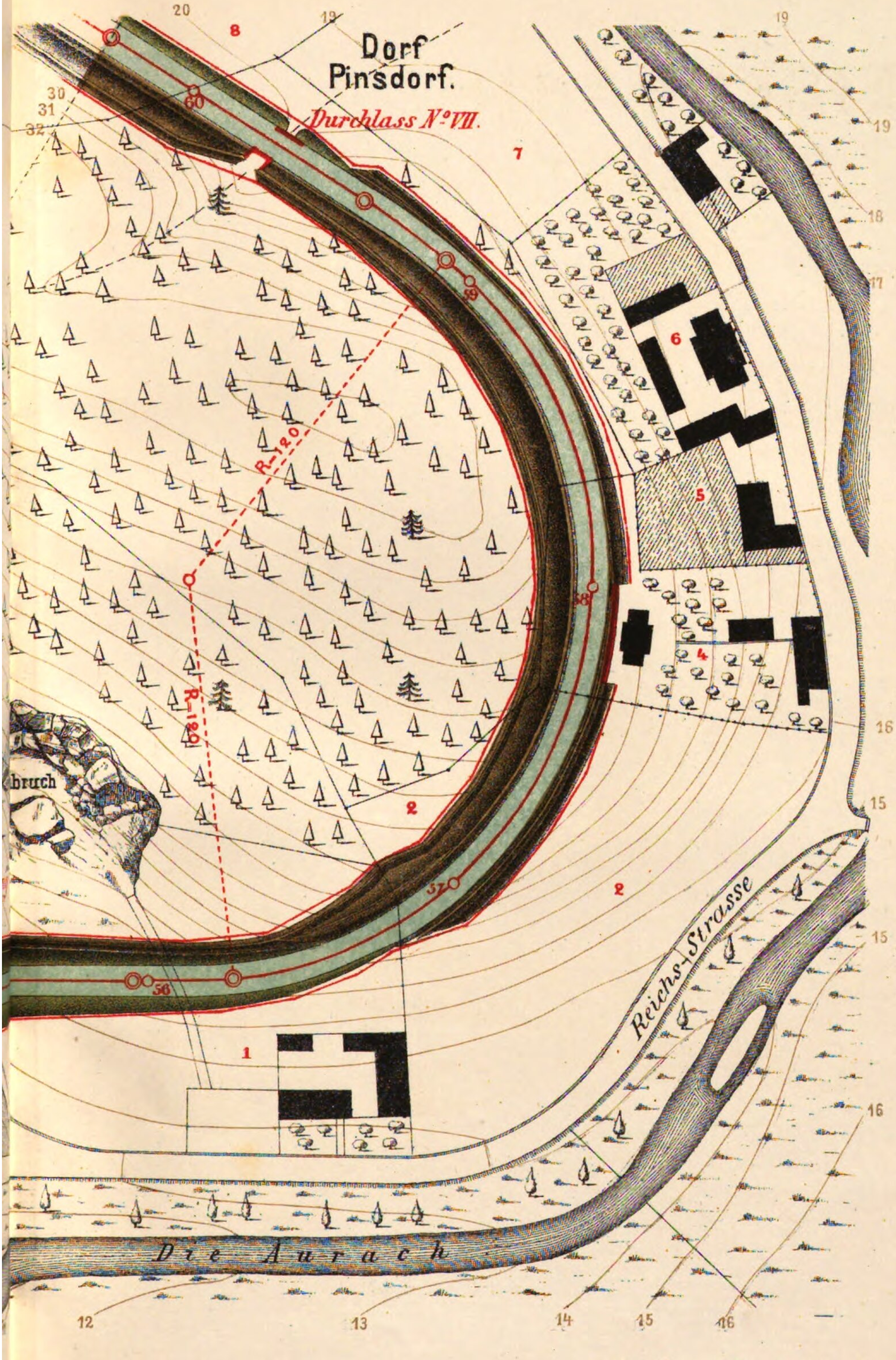
„ „ „ 12 „ unten: $\frac{1}{3} cl^2$ statt $\frac{1}{2} cl^2$.

Seite 69, Zeile 6 v. oben: „Fläche“ statt „Höhe“.
„ „ „ 10 „ unten: y_{n+2} statt y_n.
„ „ „ 7 „ „ y_{n+2} statt y_{n-2}.
„ „ Formel 15: $\frac{1}{2}(y_1 + y_2)e$ statt $\frac{1}{2}(y_1 + y_2)$ und e statt l.
„ 74, Zeile 5 v. unten: „Formel 3“ statt „Formel 2“.
„ „ Formel 7: $\frac{\varphi_1 + \varphi_2''}{6}$ statt $\frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}$.
„ 75, Zeile 17 v. oben und Zeile 1 v. unten: 2. statt 1.
„ 76, „ 6 „ oben: $\frac{1}{2}(F_1 + F_2)l$ statt $\frac{1}{3}(F_2 + F_2)l$.
„ 76, Zeile 7 und 6 v. unten: 54 statt 45 und „Formel 7“ statt „Formel 6“.
„ 77, „ 17 v. oben: 6 statt 5.
„ „ „ 12 „ unten: V_1 statt V.
„ „ „ 11 „ „ $y_1 + y'_1$ statt $y_1 + y'_2$ und y_2 statt y^2,
„ 78, „ 6 „ oben: l', l'' statt l_1', l_2''.
„ „ „ 8 „ „ V_2 statt V.
„ „ „ 16 „ unten: $\frac{1}{3}$ statt $\frac{1}{2}$.
„ „ „ 7 „ „ 54 statt 45.
„ „ „ 4 „ „ 35 statt 30.
„ 80, „ 1 „ „ v_1 statt v_2.
„ 93, „ 1 „ oben: G' statt G.
„ „ „ 3 „ „ $\frac{c}{c_0}$ statt $\frac{c}{c_1}$.
„ 94, Formel 12: l_0 statt l.
„ 103, Formel 40: $\frac{l_0}{l}$ statt $\frac{l}{l_0}$.
„ 116, Zeile 12 u. 13 v. oben: statt „der Auftrag DE durch Seitenentnahme zu bilden sein“ ist zu setzen: „und ebenso der Abtrag DE“.
„ 117, Formel 1: C statt A.
„ 118, Fig. 85: N statt N', ebenso Q und Q' sind zu verwechseln.
„ 119, Zeile 17 v. oben: Bs^2 statt Bs.
„ „ „ 17 „ unten: 77 statt 76.
„ 124, „ 16 „ oben: $\cot \beta$ und $\cot \beta_1$ statt $\tan \beta$ und $\tan \beta_1$.
„ 125, „ 7 „ „ $2a\frac{x}{l}$ statt $a\frac{x}{l}$. In Folge dessen ist in Formel 7: $\frac{1}{16}$ statt $\frac{1}{32}$, $\frac{3}{32}$ statt $\frac{3}{64}$ und in Zeile 15 v. oben $\frac{3}{4}a$ statt $\frac{3}{8}a$ zu setzen.
„ 126, Zeile 13 v. unten: t^2db statt t^2dt und dt statt db.
„ „ „ 4 „ „ „oder“ statt „der“.
„ 127, „ 13 „ „ 9 statt 7.
„ 158, Zeile 6 v. oben: „Anhydrit“ statt „Anhydrat“.
„ 181, „ 8 „ unten: XII. Kapitel statt XI. Kapitel.
„ 202, „ 5 „ unten: „Kilometer“ statt „Kolom“.
„ 205, „ 11 „ oben: XIII. Kapitel statt XII. Kapitel.

Tafel I. Die Böschung am oberen Rande der Tafel soll ausserhalb der punktirten Linie nicht schattirt sein.

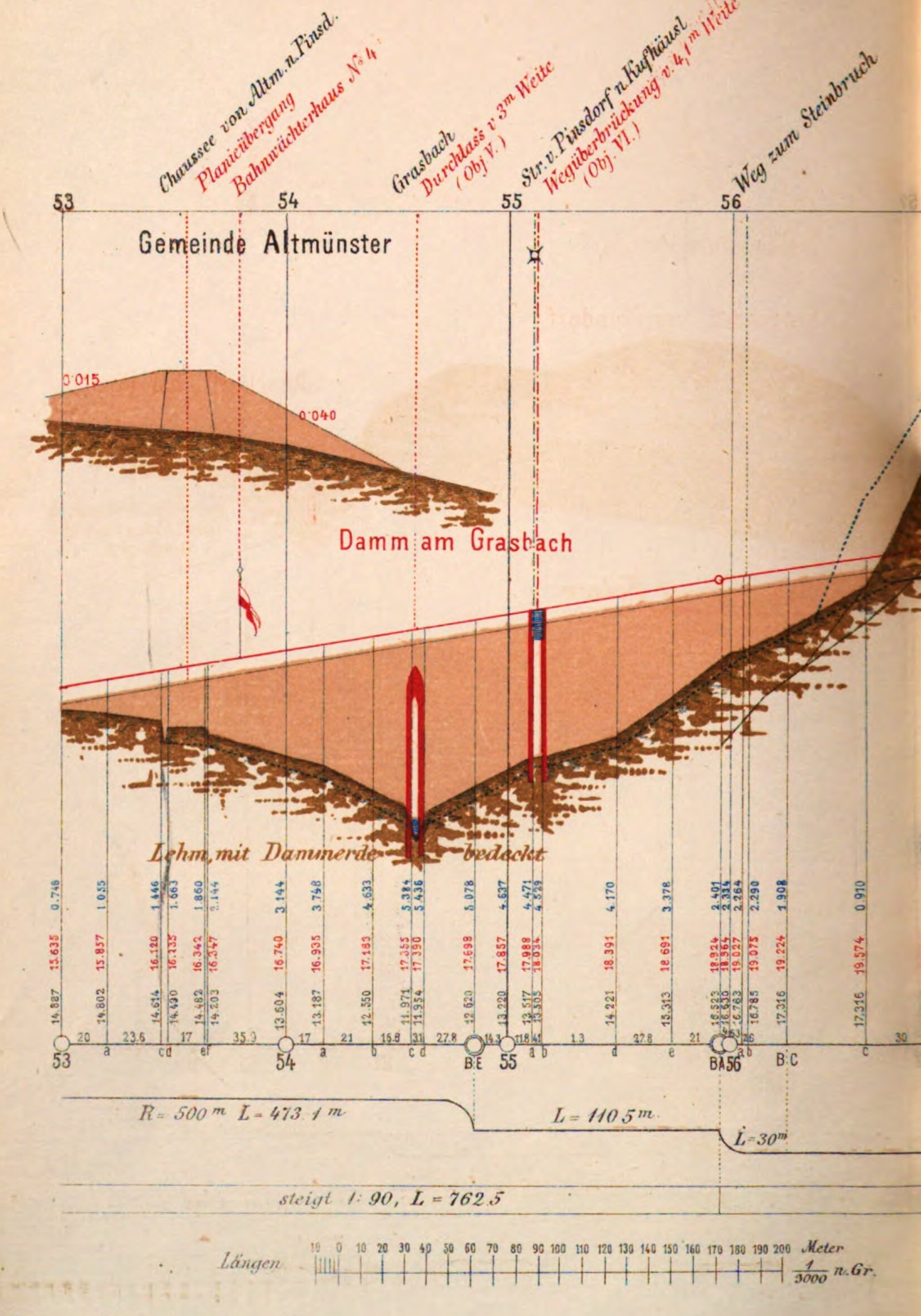


SITUAT
EISENBAHN-
PROJEKT.
1/2000 nat. Gr.
METER.
N
S
von Kufhäusl
Gemeinde Pinsdorf
Gemeinde Altmünster
Grasbach
20
Durchlass No V.
Weg-Überbrückung No VI.
Planieübergang
21
Gasthaus am Stein.
Bahnwächterhaus No 4
19
R-500
18



Lith. Anst. v. F. Köke in Wien.

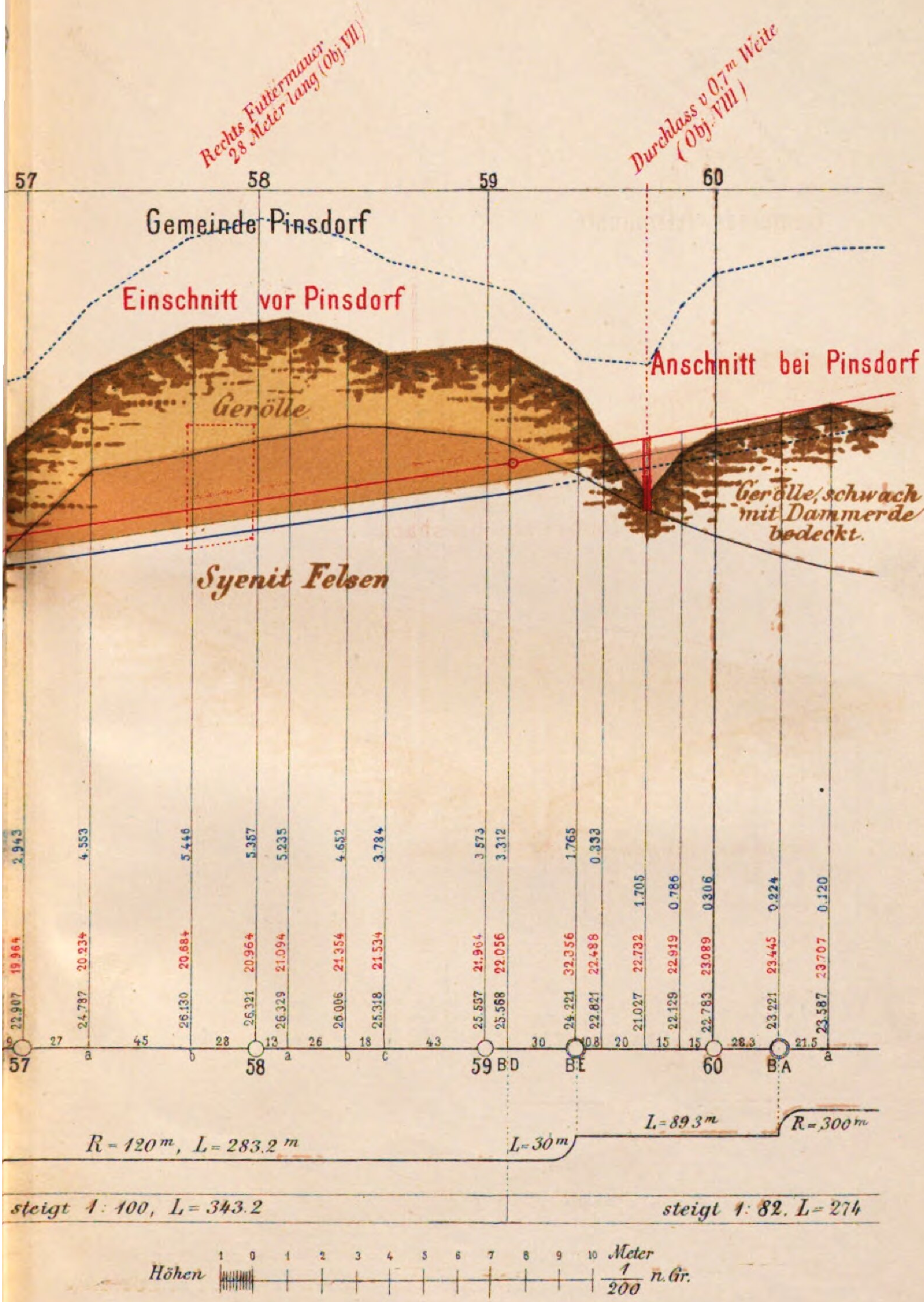
LÄNGEN



Winkler's Eisenbahnbau V.

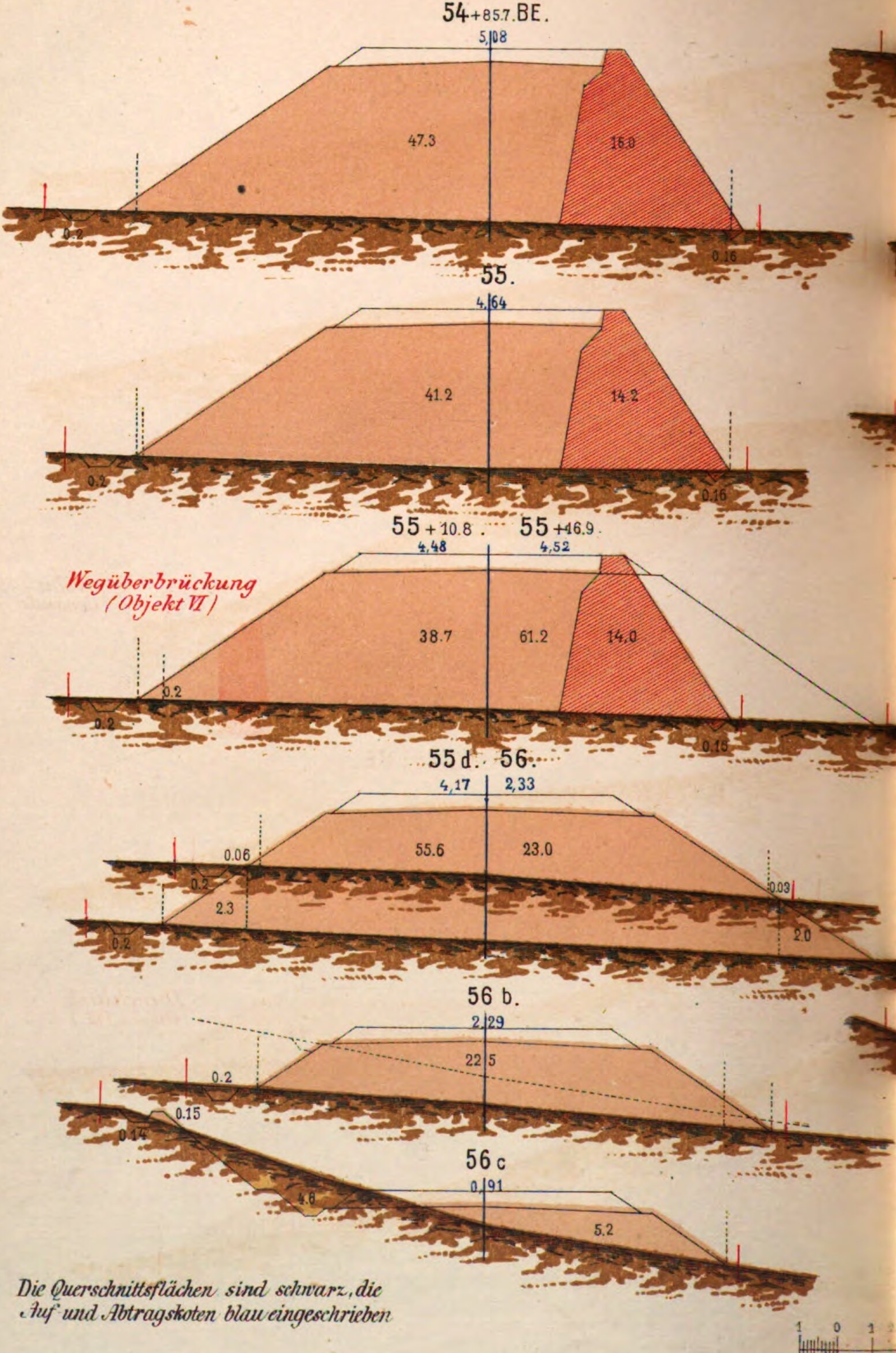
PROFIL.

Tafel II.



Lith. Anst. v. Guberner & Hierhamer, Wien

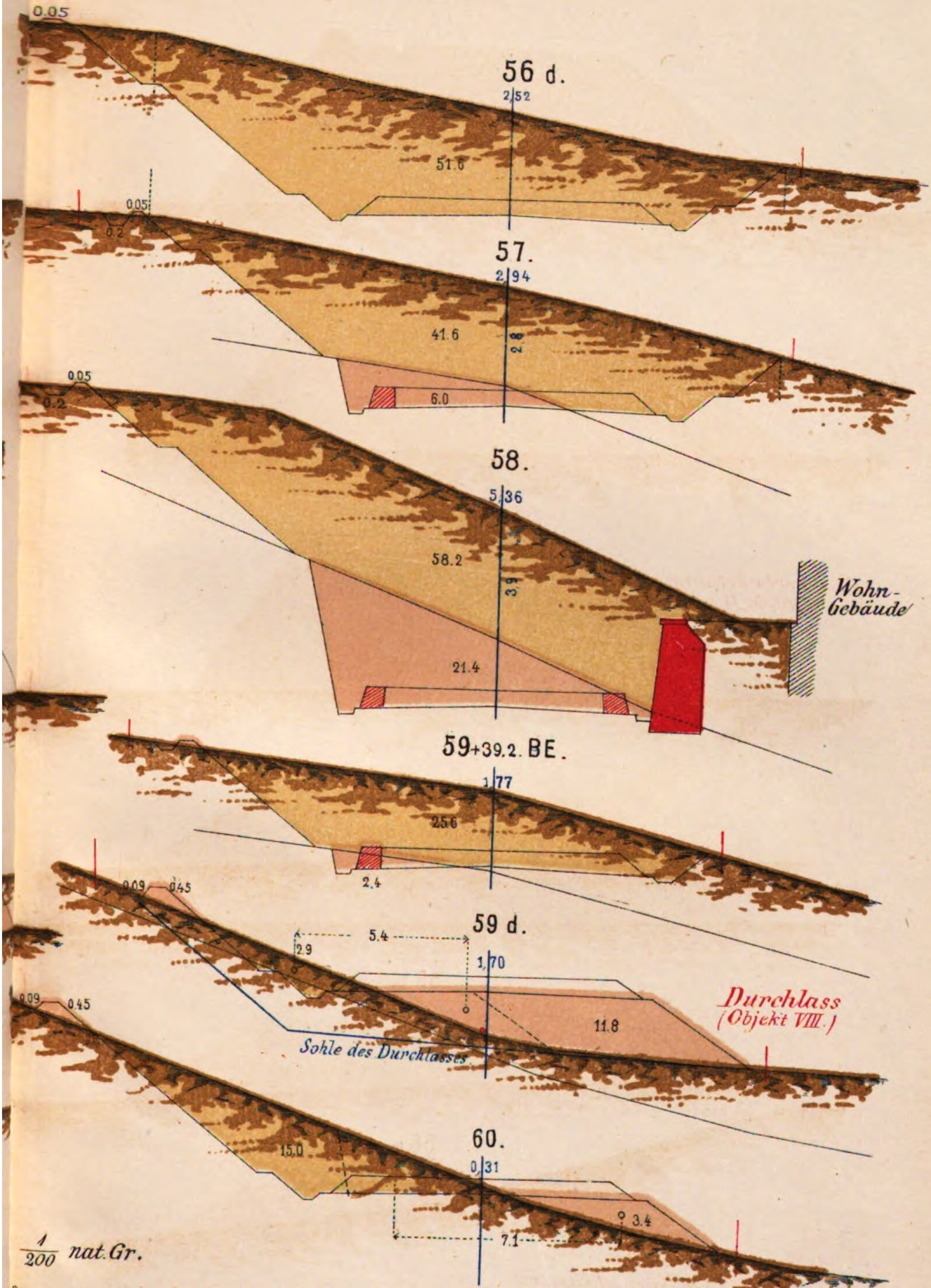
QUER



Die Querschnittsflächen sind schwarz, die Auf- und Abtragskoten blau eingeschrieben

ROFILE.

Tafel III.



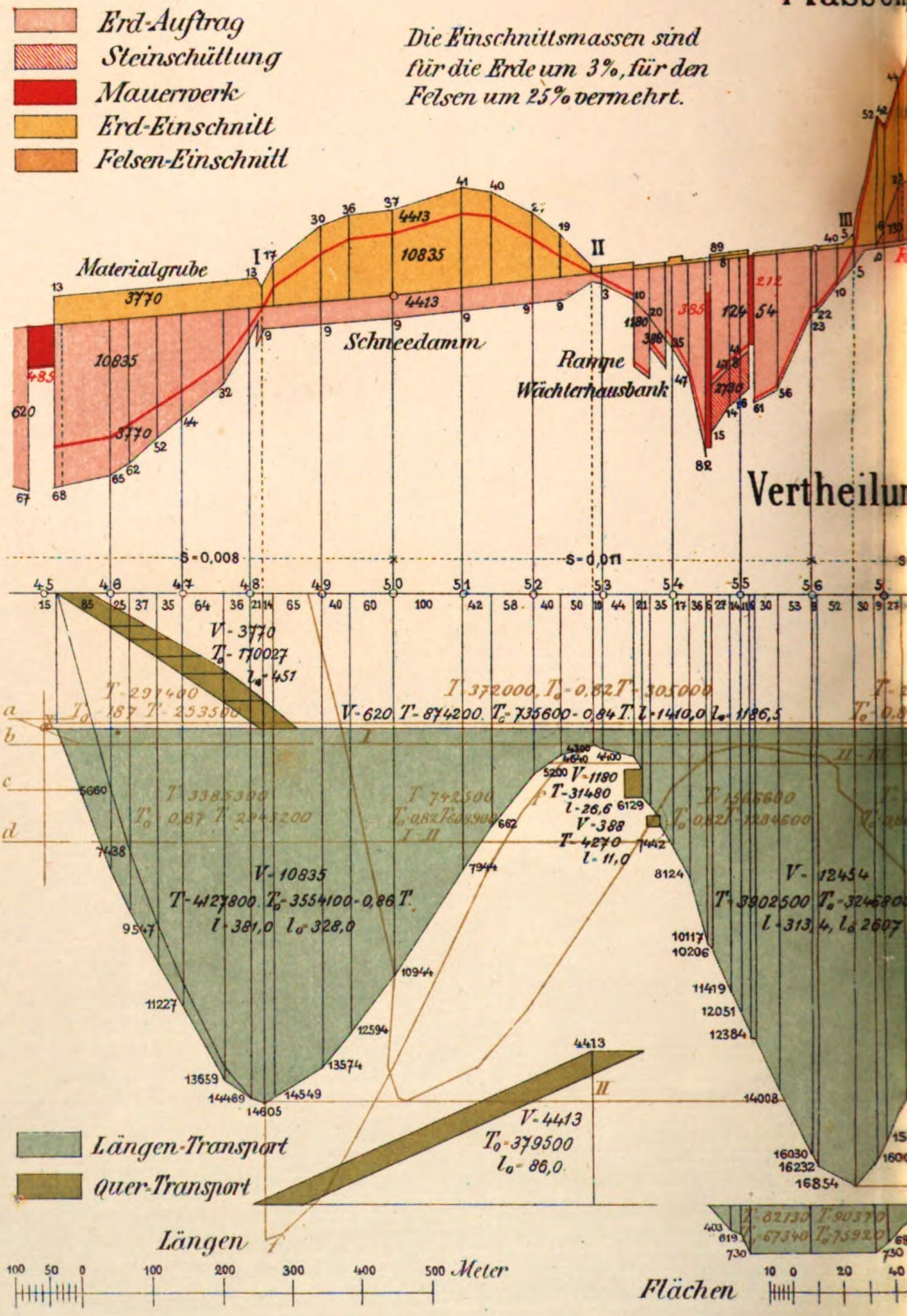
1/200 nat. Gr.

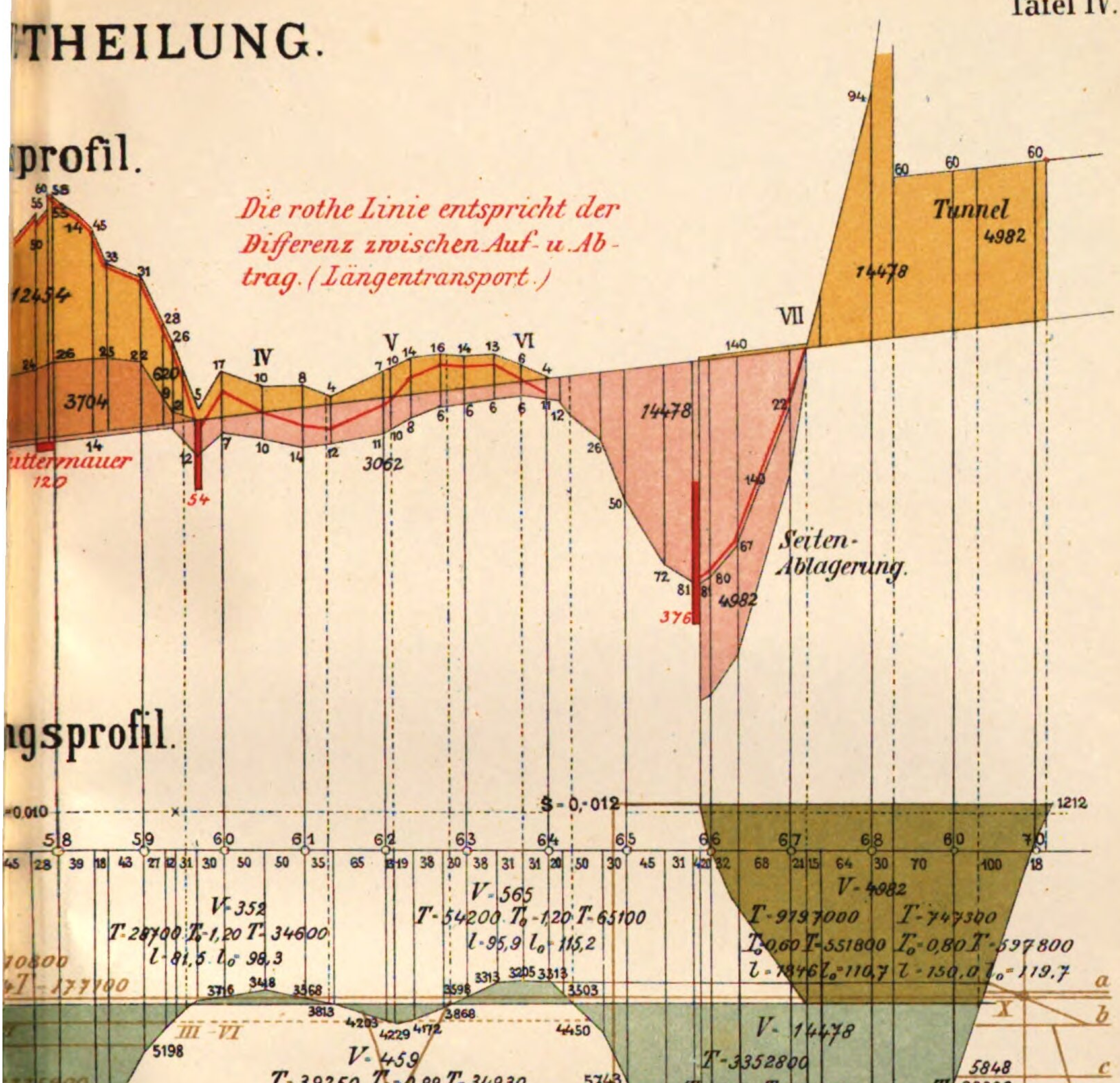
2 3 4 5 6 7 8 9 10 Meter

Lith. Anst. v. Guberner & Hierhamer, Wien

MASSENVER

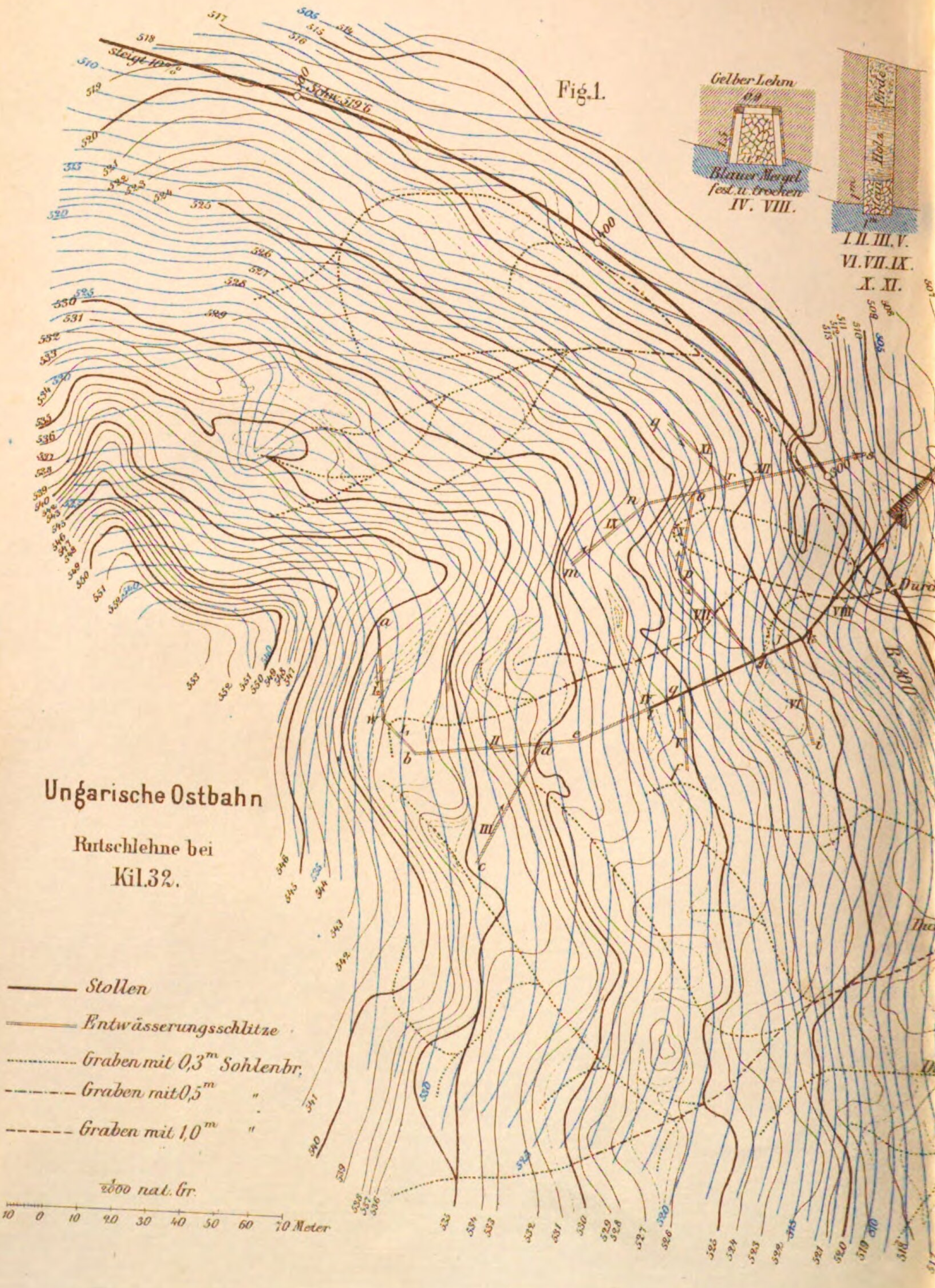
Massen

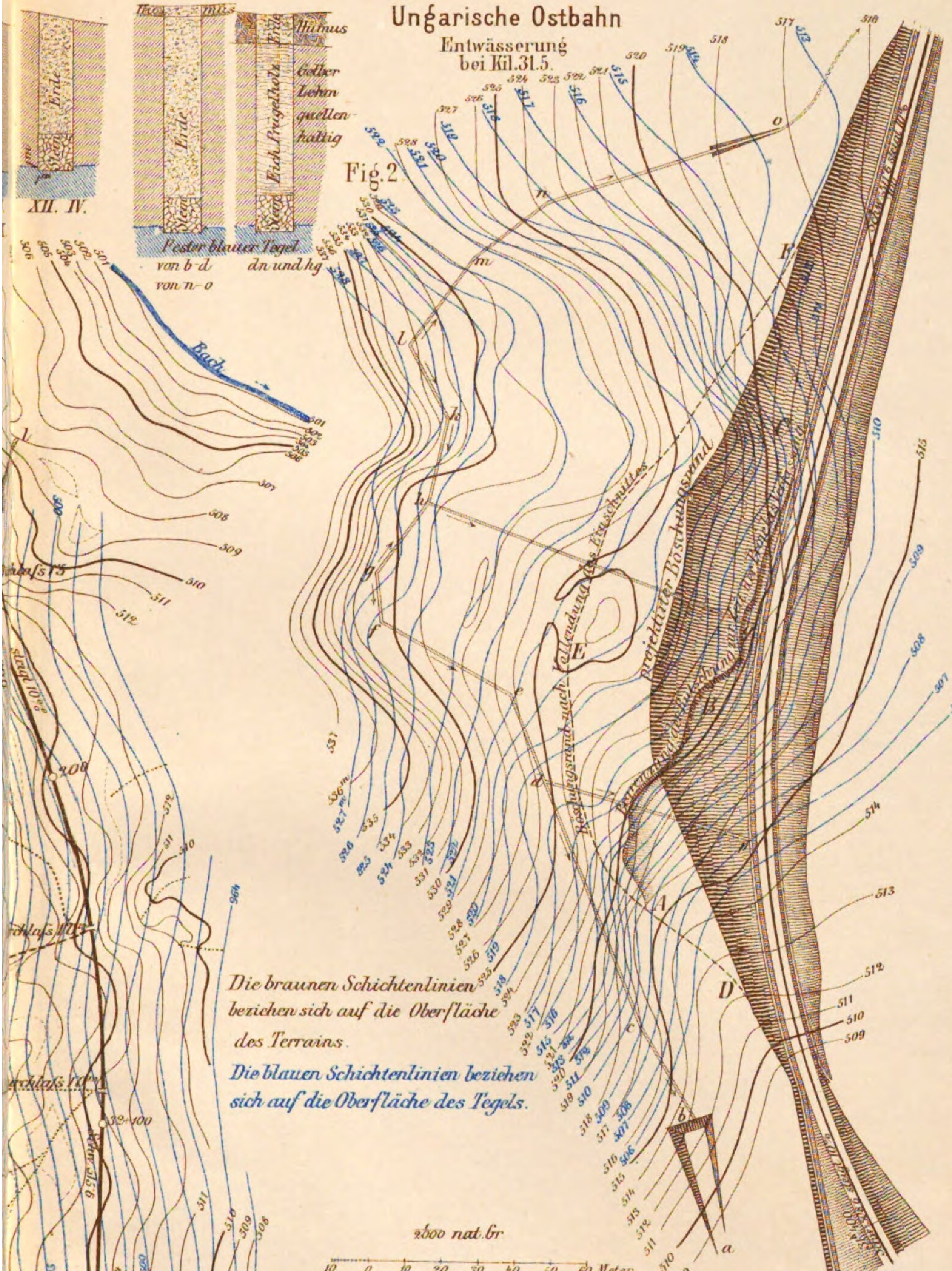




Lith. Anst. v. F. Köke in Wien.

UNTERIRDISCHE S





Lith. Anst. v. F. Köke in Wien.

In demselben Verlage ist erschienen:

Die Lehre von der Elasticität und Festigkeit, mit besonderer Rücksicht auf ihre Anwendung in der Technik, von **Dr. E. Winkler.** I. Theil. 24 Bogen Text mit 120 Holzschnitten und 12 lithogr. Tafeln. 2. Auflage. 1877. (Unter der Presse.)

Vorträge über Eisenbahnbau, gehalten an verschiedenen deutschen polytechnischen Schulen, begonnen von **Dr. E. Winkler.**

1. Heft. Der Eisenbahn-Oberbau. 3. Auflage. 1875. Fl. 4. — = ℳ 8. —
2. Heft. Weichen und Kreuzungen. 2. Auflage. 1874. Fl. 3. 50. = ℳ 7. —
3. Heft. Schiebebühnen und Drehscheiben von **Dr. W. Fränkel.** 2. Auflage. 1877. Fl. 5. — = ℳ 10. —
5. Heft. Der Eisenbahn-Unterbau. 3. Auflage. 1877. Fl. 5. — = ℳ 10. —
11. Heft. Signalwesen von **Dr. Ed. Schmitt.** 1.—4. Lieferung. 1874. Fl. 5. 40. = ℳ 10. 80.

Vorträge über Baumechanik, gehalten an der k. k. deutschen technischen Hochschule in Prag, von **Karl E. v. Ott,** Direktor der zweiten deutschen Staats-Realschule und hon. Docent der Baumechanik. I. Theil, die Statik des Erdbaues, der Stützmauern und der Gewölbe enthaltend. 2. Auflage. 1877. Fl. 1. 90. = ℳ 3. 80. II. Theil, die Normal-, Schub- und Biegungs-Elasticität, die zusammengesetzte Festigkeit und Theorie der Brückenträger enthaltend. 2. Aufl. 1877. (Unter der Presse.)

Bei **Carl Gerold's Sohn** in **Wien** erscheint:

Vorträge über Brückenbau, gehalten an der k. k. technischen Hochschule in Wien, von **Dr. E. Winkler.** Bis jetzt ist erschienen: **Eiserne Brücken,** II. Heft. (Gitter-Träger und Lager gerader Träger.) 2. Auflage. 1875. IV. Heft. (Querkonstruktionen.) 1876. **Theorie der Brücken,** I. Heft. (Aeussere Kräfte gerader Träger.) 2. Auflage. 1875. II. Heft. (Innere Kräfte gerader Träger.) 1875.

Bei **Lehmann & Wenzel** in **Wien** ist erschienen:

Technischer Führer durch Wien. Mit Unterstützung des österreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereins herausgegeben von **Dr. E. Winkler.** Mit Holzschnitten und Plänen. 2. vermehrte Ausgabe. 1874.

Auch in französischer Sprache unter dem Titel: **Guide de l'Architecte et de l'Ingenieur a Vienne.**

Druck von B. G. Teubner in Leipzig.

Frauenstrasse 5/0.

BSB Bayerische StaatsBibliothek

MDZ Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Winkler, Emil, 1835-1888

Vorträge über Eisenbahnbau gehalten an verschiedenen deutschen polytechnischen Schulen

Bd.: 5

Prag 1877

A.hydr. 1148-5
urn:nbn:de:bvb:12-bsb11354102-9